



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKCE PŘESNÉ VYVRTÁVACÍ HLAVY

DESIGN OF PRECISE BORING HEAD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Janošík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Tůma, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Radek Janoščík**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Tůma, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce přesné vyvrtávací hlavy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vyvrtávací hlavy jsou nedílnou součástí výrobního procesu. Uplatňují se zejména při dokončovacích operacích, kdy je zapotřebí přesně dokončit otvor, nebo čep na frézovaném dílu s požadovanou tolerancí bez nutnosti, nebo možnosti využití jiného nástroje (například výstružníku). Student se zaměří na problematiku vyvrtávacích hlav a provede konstrukční návrh vyvrtávací hlavy.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti přesného vyvrtávání, v oblasti vyvrtávacích hlav, jejich konstrukce a funkce.
Konstrukční výpočty nutné pro návrh vyvrtávací hlavy.
Konstrukce vyvrtávací hlavy dle zadaných parametrů.
Výkresová dokumentace vybraných dílů navrhované vyvrtávací hlavy.
Vlastní závěr a vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

Narex MTE: ...Expert in boring [online], 2018 [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <http://www.narexmte.cz>

RBH Tools [online], 2018 [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <https://www.rbh-tools.com/>

Rigibore [online], 2018 [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <https://www.rigibore.com/>

Ingersoll: Cutting tools [online], 2018 [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: www.ingersoll-imc.com

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí přesné vyvrtávací hlavy. V první rešeršní části je řešena problematika vyvrtávání, vyvrtávacích strojů, vyvrtávacích nástrojů a jejich konstrukce a funkce. Druhá část obsahuje návrh a konstrukční výpočet přesné vyvrtávací hlavy. Výstupem práce je 3D model včetně vybrané výkresové dokumentace přesné vyvrtávací hlavy.

ABSTRACT

The bachelor thesis describes the design of precision boring head. In the first part of the research, the issue of boring, boring machines, boring tools and their construction and function is solved. The second part contains the design and construction calculation of the exact boring head. The output of the work is a 3D model and selected drawing documentation of a precise boring head.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přesný vyvrtávací nástroj, přesná vyvrtávací hlava, vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností, vyvrtávací tyč.

KEYWORDS

Precision boring tool, precision boring head, boring head with increased precision, boring bar.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANOŠTÍK, Radek. *Konstrukce přesné vyvrtávací hlavy*. Brno, 2019, 71 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117387>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Tůma.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Tůmy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Janošík Radek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval za odborné rady vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Tůmovi Ph.D., a dále mé rodině a přátelům za trpělivost a podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	VYVRTÁVÁNÍ.....	17
2.1	Kinematika vyvrtávání.....	17
2.2	Vyvrtávací stroje.....	17
2.2.1	Vyvrtávačky s horizontální osou vřetena.....	18
2.2.2	Vyvrtávačky s vertikální osou vřetena – souřadnicové.....	20
2.2.3	CNC obráběcí centra.....	21
2.3	Ustavení a upnutí obrobku.....	22
2.4	Výhody / nevýhody vyvrtávání.....	22
2.5	Geometrie nástroje.....	23
2.6	Řezné podmínky.....	24
2.6.1	Řezná rychlost.....	24
2.6.2	Hloubka řezu.....	25
2.6.3	Posuv.....	25
2.6.4	Procesní kapaliny.....	25
2.7	Přesné vyvrtávání.....	26
3	PŘESNÉ VYVRTÁVACÍ NÁSTROJE.....	27
3.1	Vyvrtávací tyče.....	28
3.1.1	Vyvrtávací tyče s nožovou jednotkou.....	28
3.1.2	Vyvrtávací tyče s excentrickým mechanismem.....	30
3.1.3	Vyvrtávací tyče s nožovou kazetou.....	30
3.1.4	Vyvrtávací tyče s tlumičem vibrací.....	31
3.2	Vyvrtávací hlavy.....	32
3.2.1	Vyvrtávací hlavy s mikrometrickým šroubem.....	34
3.2.2	Vyvrtávací hlavy se šroubem a převodem.....	35
3.2.3	Vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností.....	36
3.2.4	Vyvrtávací hlavy s excentrickým mechanismem.....	37
3.3	Vyvrtávací hlavy univerzální.....	37
3.4	Stavebnicové nástroje.....	38
3.5	Vyvrtávací mosty.....	39
3.6	Lící desky.....	39
3.7	Jednoúčelové nástroje.....	40

4	NÁVRH, VOLBA A VÝPOČET ŘEŠENÍ.....	41
4.1	Vstupní parametry	41
4.2	Volba VBD	41
4.3	Volba posuvového mechanismu	42
4.4	Výpočet posuvového mechanismu	42
4.4.1	Volba stoupání závitů posuvového šroubu	42
4.4.2	Volba dělení nastavovací stupnice a nonia	43
4.4.3	Výpočet velikosti přestavení průměru na dílek	44
4.4.4	Aretace volně otočné matice a zajištění volné rotace	44
4.4.5	Výpočet velikosti nastavovacího momentu	46
4.5	Výpočet řezné síly	47
4.6	Výpočet silových reakcí na držáku VBD a výpočet jeho šroubů	47
4.7	Výpočet silových reakcí na sestavě saní a výpočet aretačních šroubů	48
4.8	Volba uložení saní v těle.....	49
4.9	Výpočet silových reakcí na příložkách saní	50
4.10	Výpočet silových reakcí na nastavovacím voliči posuvu	51
4.11	Přívod řezné kapaliny	52
4.12	Rozhraní připojení ke stroji	53
5	NÁVOD K OBSLUZE NAVRHNUTÉHO NÁSTROJE	55
5.1	Bezpečnostní pokyny	55
5.2	Možnosti použití	55
5.3	Popis nástroje	56
5.4	Postup práce při vyvrtávání	57
6	ZÁVĚR.....	59
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	65
8.1	Seznam zkratk	65
8.2	Seznam symbolů	65
8.3	Seznam obrázků	68
8.4	Seznam tabulek	70
9	SEZNAM PŘÍLOH	71

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou konstrukce přesné vyvrtávací hlavy. Vyvrtávací hlava je nástroj používaný na obráběcích strojích k vyvrtávání rotačních otvorů. Vyvrtávání je metoda trískového obrábění, při níž se rozšiřují předpracované díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Typickým obrobkem vyvrtávání jsou například převodové skříně, ať už odlité nebo svařované, domečky a uložení pro ložiska, dále součásti, do kterých mají být vyrobeny přesné otvory obvykle v přesné osové vzdálenosti a struktura povrchu nevyžaduje nebo tvar obrobku neumožňuje broušení. [1]

Přesné vyvrtávací nástroje byly dříve doménou souřadnicových vyvrtávacích strojů, dnes jsou díky rozšířenosti CNC strojů běžnou výbavou výrobních podniků a firem. Vyrábějí se ve značném množství různých velikostí a provedení. Na trhu je velmi široké spektrum těchto vyvrtávacích nástrojů od výrobků pochybné kvality až po precizní nástroje, které jsou vybaveny nejmodernější elektronikou.

Bakalářskou práci lze rozdělit na dvě části. První, teoretickou, zabývající se rešerší v oblasti vyvrtávání, vyvrtávacích strojů a vyvrtávacích hlav, jejich konstrukcí a funkcí. A druhou, praktickou, zabývající se návrhem, konstrukčními výpočty a konstrukcí dle zadaných a vypočtených parametrů.

Teoretická část práce popisuje vyvrtávání, jeho možnosti a řezné podmínky. Řeší výhody a nevýhody použití vyvrtávání ve srovnání s použitím vícebřitých nástrojů. Práce dále popisuje vyvrtávací stroje, jejich základní rozdělení, velikosti a možnosti. Následně se práce zabývá vyvrtávacími nástroji podrobněji. Popisuje různé druhy vyvrtávacích hlav, vyvrtávacích tyčí a dalších vyvrtávacích nástrojů s ohledem na jejich funkci a technologické možnosti. Pozornost je věnována různým druhům nastavovacích posuvových mechanismů. Dále jsou popsány možnosti připojení vyvrtávacího nástroje ke stroji.

Praktická část práce obsahuje zadání parametrů vyvrtávaného otvoru a bližší informace o operaci vyvrtávání a obráběcím stroji. Na základě těchto parametrů je zvolena vyměnitelná břitová destička a vyhotoven konstrukční návrh přesné vyvrtávací hlavy, který je podložen příslušnými konstrukčními výpočty.

Součástí práce je vytvořit 3D model přesné vyvrtávací hlavy v programu Autodesk Inventor Professional a výkresovou dokumentaci vybraných dílů.

Téma této bakalářské práce jsem si zvolil z důvodu předchozích zkušeností s prací s přesnou vyvrtávací hlavou na vertikálním frézovacím obráběcím centru a také z důvodu že se mi nepodařilo najít obdobnou práci zabývající se konstrukcí přesné vyvrtávací hlavy.

Cílem mé bakalářské práce je tedy navrhnout přesnou vyvrtávací hlavou dle zadaných parametrů a při konstrukci vycházet z rešerše v první části práce.

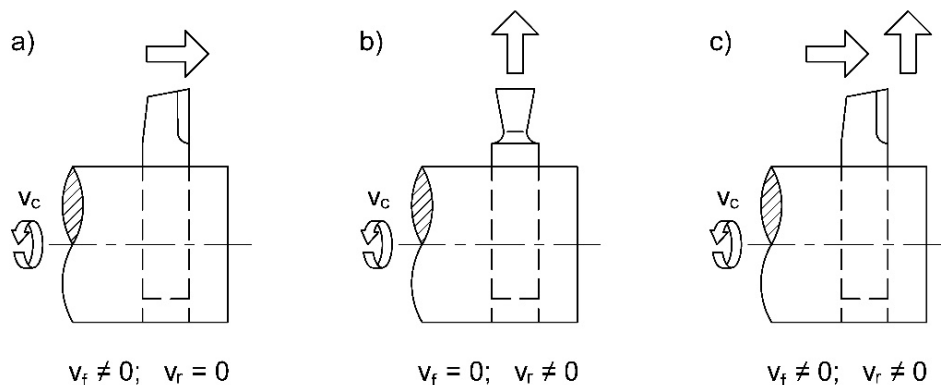
2 VYVRTÁVÁNÍ

Vyvrtávání je metoda třískového obrábění, při níž se rozšiřují předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby předpracované díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro dokončování. [1]

Při vyvrtávání se obrábí vyvrtávacími noži upevněnými ve vyvrtávacích tyčích, hlavách nebo speciálních držácích. Obráběné plochy mají vždy rotační tvar např.: válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy. Vyvrtáváním lze též obrábět vnitřní zápichy a řezat vnitřní závit. U složitějších obrobků mohou být všechny uvedené tvarové prvky kombinovány v různém uspořádání na jedné nebo více osách rozložených v rovině nebo prostoru. Vyvrtávací stroje navíc v případě potřeby umožňují obrábět jmenované plochy i ve vnějším provedení. [1]

2.1 Kinematika vyvrtávání

Kinematika vyvrtávání může být realizována jedním ze tří základních způsobů (obr. 1):



Obr. 1 Kinematika vyvrtávání [1]

a) Nástroj vykonává řezný pohyb v_c , vyvrtávací nůž je pevně uložen v nástroji a nástroj (nebo obrobek) koná podélný posuvový pohyb v_f . Radiální posuvový pohyb v_r je roven nule, nůž je vůči obrobku nastaven na konstantní hloubku řezu a_p . Při této kinematice lze obrábět válcové plochy. [1]

b) Nástroj vykonává řezný pohyb v_c , vyvrtávací nůž se vysouvá z nástroje v radiálním směru plynule (rychlostí v_r) nebo po přítržích (obvykle za jednu otáčku), podélná posuvová rychlost v_f je rovna nule. Při této kinematice jsou obráběny zápichy. [1]

c) Nástroj vykonává hlavní řezný pohyb v_c , podélný posuvový pohyb v_f vykonává nástroj nebo obrobek, přičemž se nůž z nástroje plynule (rychlostí v_r) nebo po přítržích vysouvá současně v radiálním směru. Při této kinematice jsou obráběny tvarové rotační plochy. [1]

2.2 Vyvrtávací stroje

Vyvrtávání lze provádět na soustruzích, vrtačkách, souřadnicových vrtačkách, jednoúčelových strojích, vyvrtávacích jednotkách v automatických linkách a obráběcích centrech. Nejčastěji jsou však pro vyvrtávací operace používány především vodorovné vyvrtávačky, souřadnicové vyvrtávačky a obráběcí centra. Velikost vyvrtávaček se posuzuje podle průměru pracovního vřetene, vyrábějí se ve velikostech v rozmezí od 63 do 315 mm. Rozdělují se dle orientace osy vřetene na vodorovné a svislé. [1; 2]

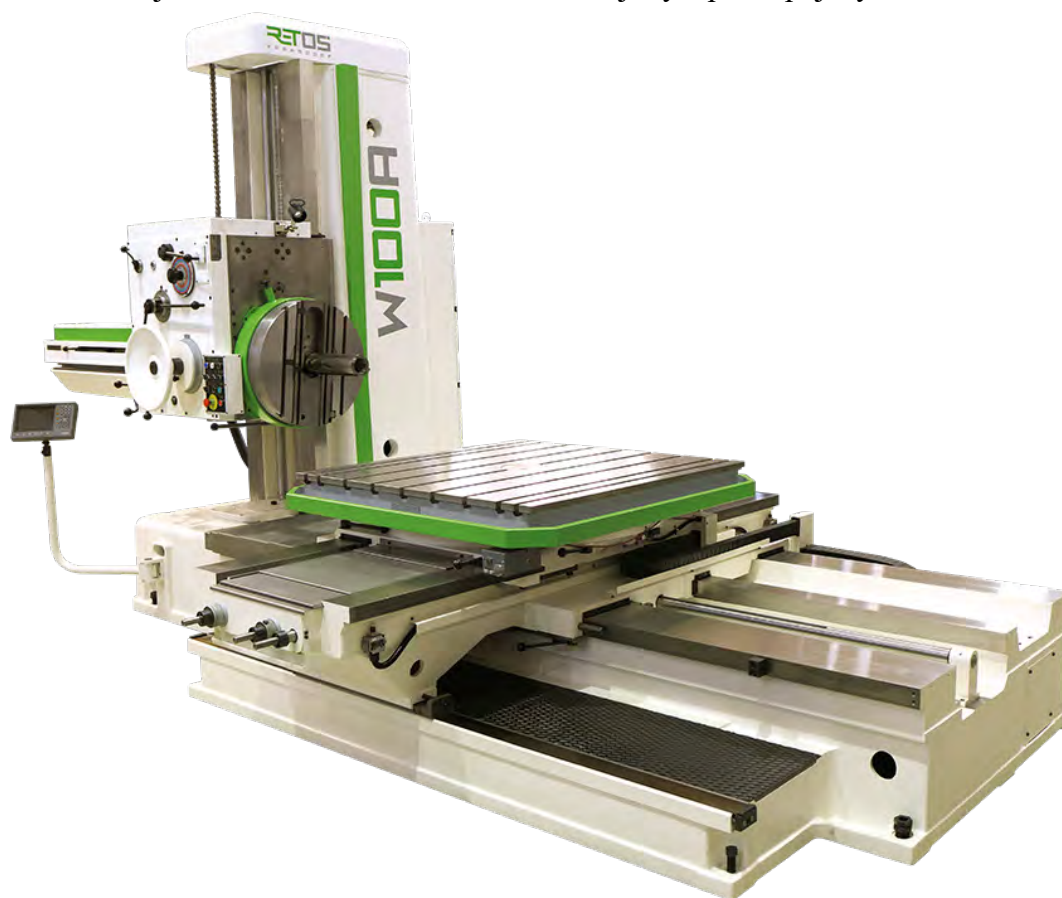
Základní operací prováděnou na vyvrtávacích strojích je obrábění nástrojem s jedním břitem do předlitého atp. otvoru (vyvrtávací operace, odtud pochází název stroje). Hlavní řezný pohyb (rotační) vykonává zpravidla nástroj upnutý v pracovním vřetenu. Vedlejší řezný pohyb vykonává pinola, vřeteník, saně lícní desky nebo obrobek v závislosti na druhu stroje a prováděné operaci. Dnes je většina strojů vybavena CNC řízením nebo odměřováním. [3]

2.2.1 Vyvrtávačky s horizontální osou vřetena

Horizontální vyvrtávačky jsou univerzální stroje, jak do druhu prací, tak do rozměru a tvaru obrobků, vhodné k obrábění v kusové a malosériové výrobě. Umožňují při jednom upnutí provést současně nebo postupně různé operace až z pěti stran obrobku. Je na nich možno vrtat, vyvrtávat, vystružovat, zahlubovat, soustružit čelní i vnější a vnitřní plochy, frézovat, někdy i obrážet. Pro tyto obráběcí stroje je typické použití bohatého příslušenství a přídavných zařízení které značně zvyšují technologické možnosti těchto obráběcích strojů. [2; 3; 4]

Horizontální vyvrtávačky stolové

Stolové vyvrtávačky (obr. 2) jsou vybaveny křížovým stolem, který umožňuje posuv ve dvou na sebe kolmých směrech. Křížový stůl bývá proveden jako otočný, proto je možné obrábět součást ze čtyř stran na jedno upnutí. Nepřesahuje-li obrobek výškové parametry stroje a je-li součástí výbavy stroje úhlová hlava, je možné součást opracovat z pěti stran na jedno upnutí obrobku. Stolové horizontální vyvrtávačky se vyrábějí v menších velikostech. U malých stolových horizontálních vyvrtávaček se stojan obvykle nepohybuje. Vřeteník je nevýsuvný a vysunuje se jen pinola. U větších strojů je stojan uložen na vedení na loži a pohybuje se ve směru osy vřetena. Stůl se pohybuje na loži ve směru osy vřetena a směru kolmém na osu vřetena. Lože stojanu a lože stolu mohou, ale nemusí být spolu spojeny. [2]



Obr. 2 Stolová horizontální vyvrtávačka TOS W100A (generální oprava RETOS) [5]

Horizontální vyvrtávačky křížové

Křížové vyvrtávačky (obr. 3) jsou koncepčně řešeny tak, že stůl je s obrobkem pohyblivý pouze v příčném směru a stojan po loži v kolmém směru. Používají se k obrábění dlouhých obrobků. Jde o vyvrtávačky středních rozměrů s průměry vřeten od 80 do 160 mm. [2]



Obr. 3 Křížová horizontální vyvrtávačka TDZ POWER HTB 130 CNC [6]

Horizontální vyvrtávačky deskové

Deskové vyvrtávačky mají vřeteník posuvný po svislém vedení stojanu a stojan se pohybuje po loži kolmo k ose vřeten. Obrobek je nepohyblivý a upíná se na litinovou desku, která je opatřena T-drážkami. Deskové horizontalky se často doplňují otočným stolem pohyblivým ve směru osy vřeten (obr. 4). Deskové horizontální vyvrtávačky se vyrábějí pro největší obrobky s průměry vyvrtávacích vřeten 130 až 315 mm. [2]



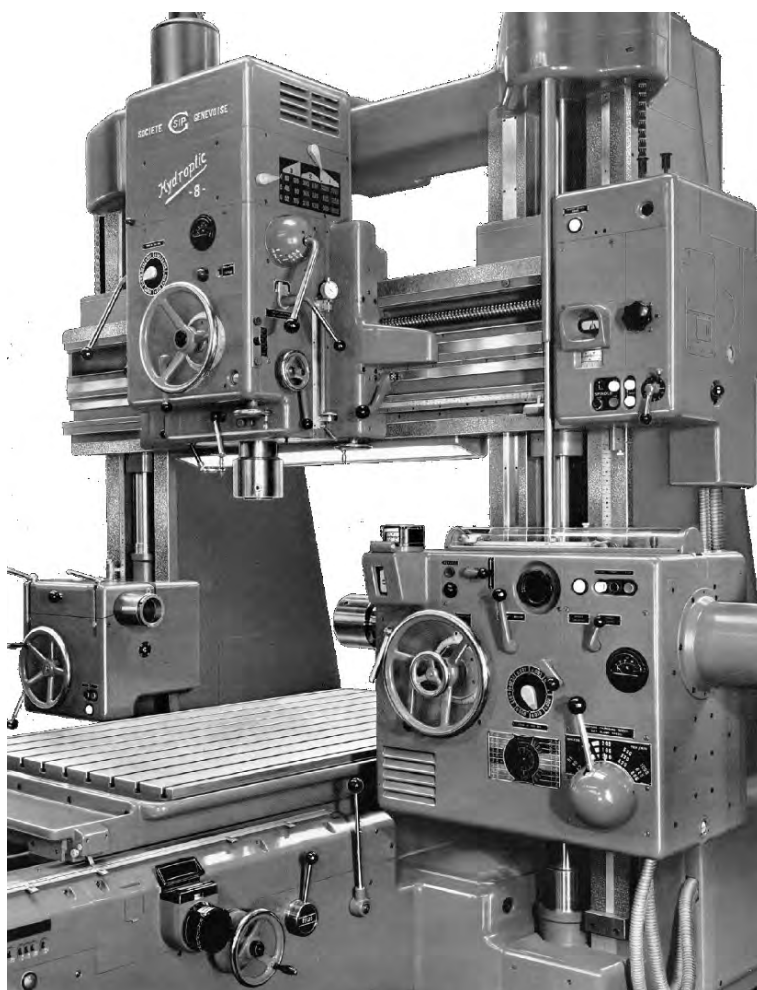
Obr. 4 Desková vyvrtávačka Fermat WRF 150 CNC [7]

Horizontální vyvrtávačky souřadnicové

Souřadnicové horizontální vyvrtávačky jsou koncepčně podobné stolovým horizontálním vyvrtávačkám, ale jsou uzpůsobeny pro přesnější práci. Jsou určeny pro obrábění přesných otvorů (typicky v přesnosti IT 5, IT 6) s požadavkem na osovou vzdálenost (přesnost až 0,002 mm) a jemné frézování. Obvykle mají samonosný rám a konstrukci s vysokou tuhostí a tepelnou stálostí. Umísťují se do prostorů se stabilizovanou teplotou a v jejich okolí se nesmí nacházet stroje generující vibrace. [2]

2.2.2 Vyvrtávačky s vertikální osou vřetena – souřadnicové

Vyvrtávačky s vertikální osou vřetena jsou obvykle souřadnicové (pokud pomineme speciální a jednoúčelové vyvrtávací stroje). Stejně jako horizontální vyvrtávačky souřadnicové jsou určeny pro nejpresnější obráběcí práce. Vyrábějí se v jedno stojanovém provedení, kdy obrobek je upnut na křížový ve dvou směrech posuvný stůl a vřeteník je svisle přestavitelný s výsuvným vřetenem (pinolou). Dále se vyrábějí ve dvoustojanovém provedení s jedním nebo více vřeteníky příčně přestavitelnými po příčnici jenž je svisle přestavitelný po stojanech. Obrobek je upnut na stole s podélným posuvem. Dvoustojanové provedení bývá často na jednom stojanu vybaveno horizontálním vřetenem (obr. 5), to umožňuje na jedno upnutí obrobku provést více operací. Souřadnicové vyvrtávačky byly vybavovány optickým odměřováním souřadnic, dnes se používají lineární nebo úhlové snímače souřadnic a nejčastěji jsou tyto stroje řízeny číslicově. Dříve byly souřadnicové vyvrtávačky také využívány pro kontrolu rozměrů dílců, jako předchůdci dnešních souřadnicových měřících strojů. [2; 3; 4]



Obr. 5 Švýcarská dvoustojanová souřadnicová vyvrtávačka SIP Hydroptic 8P [8]

2.2.3 CNC obráběcí centra

CNC (Computer Numeric Control – počítačově číslicově řízené) obráběcí centra vznikla odvozením z koncepcí NC (Numeric Control – číslicově řízené) obráběcích strojů různých typů (soustruhů, frézek, vrtaček, vyvrtávaček). Pro obráběcí centra je charakteristické, že jedna ze dvou základních operací třískového obrábění je dominantní. Tedy frézování je dominantní a soustružení doplňkové anebo naopak. Postupem času byly na tyto stroje kladeny čím dál větší nároky. Dnešní obráběcí centra (obr. 6) jsou značně univerzální stroje schopné vykonávat mnoho technologických operací, např. soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, broušení, závitování, obrážení, výrobu ozubení odvalováním a jiné. Z tohoto důvodu obráběcí centra nahrazují stroje klasických koncepcí. Pro vyvrtávání na obráběcích centrech je důležitá především tuhost stroje, dobré tlumení, odolnost proti vzniku samobuzeného kmitání, přesnost polohování a tepelná stabilita stroje. Proto mnoho výrobců obráběcích center vyrábí rámy svých strojů ze speciálních materiálů jejichž složení má patentováno, jedná se převážně o minerální litiny (polymerbetony). [2; 3; 9]



Obr. 6 Obráběcí centrum Hermle C 52 UMT [10]

2.3 Ustavení a upnutí obrobku

Ustavení a upnutí obrobku je nedílnou součástí procesu obrábění. Ustavení slouží k nastavení vzájemné polohy nástroje a obrobku, u víceosých strojů je možno ustavení v některých směrech nahradit přestavením stroje v dané ose např. natočení stolu horizontální stolové vyvrtávačky – osa B. Pro zjištění polohy ustavovaného obrobku se používá široká škála měřicích zařízení od úchylkoměrů přes analogové 3D sondy po nejmodernější dotykové sondy, jenž spolupracují s řídicím systémem stroje.

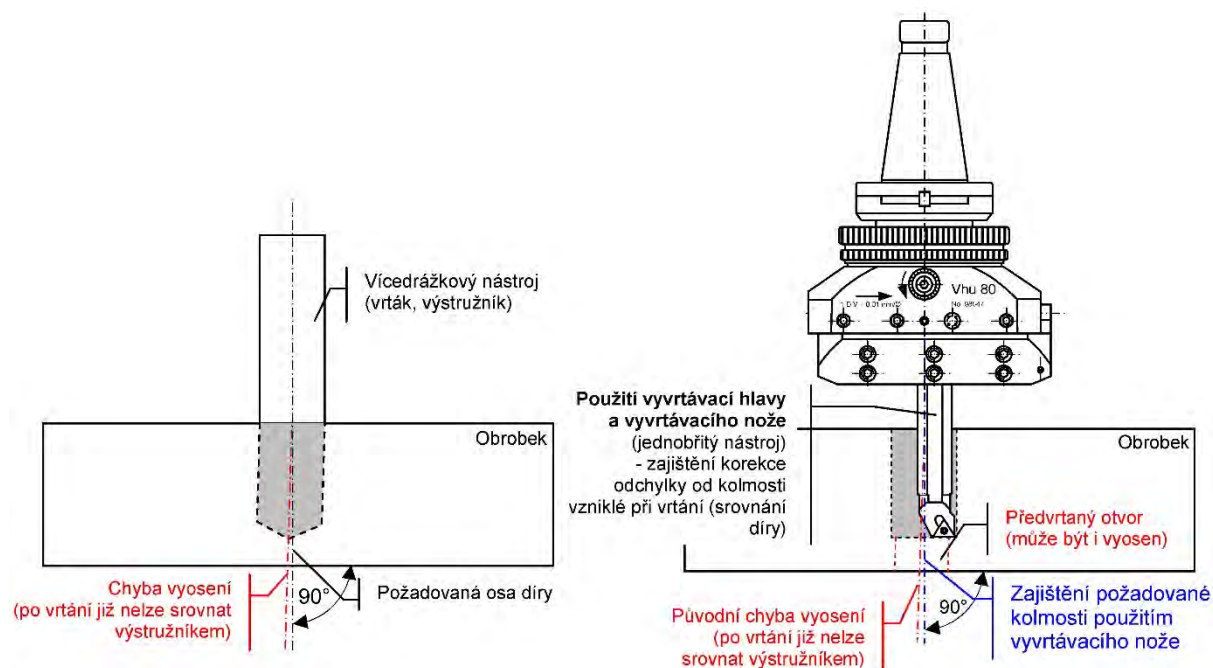
Pro přenos sil vznikajících obráběním do rámu stroje působících na obrobek je nutno obrobek vhodně upnout. Upnutí musí být dostatečně pevné, tuhé a bezpečné proti uvolnění od řezných odporů. Upínací síly, ale nesmí být příliš velké, aby nedocházelo k deformaci obrobku. Vyvrtávané součásti lze upínat do svěráků, na úhelník, stůl nebo desku stroje pomocí upínek, opěr, podpěr atd. [11]

2.4 Výhody / nevýhody vyvrtávání

Zhotovit přesný otvor bez vyvrtávání lze pomocí vrtáků, výhrubníků a výstružníků. Každý z těchto nástrojů vyvrtá jen jediný rozměr a pro jiné průměry otvorů se musí pořídit další nástroje. Tyto nástroje mají dva a více břitů, což může způsobit nepřesnou kruhovitost otvoru a vybočení nástroje z osy otvoru. [12]

Při použití vyvrtávací hlavy lze jedním nožem vyvrtávat otvory v celém rozsahu průměrů. Další výhodou vyvrtávání spočívá ve schopnosti vytvořit dokonale kruhovitou díru rotací jediného břitu vyvrtávacího nože kolem osy vřetená obráběcího stroje. [12]

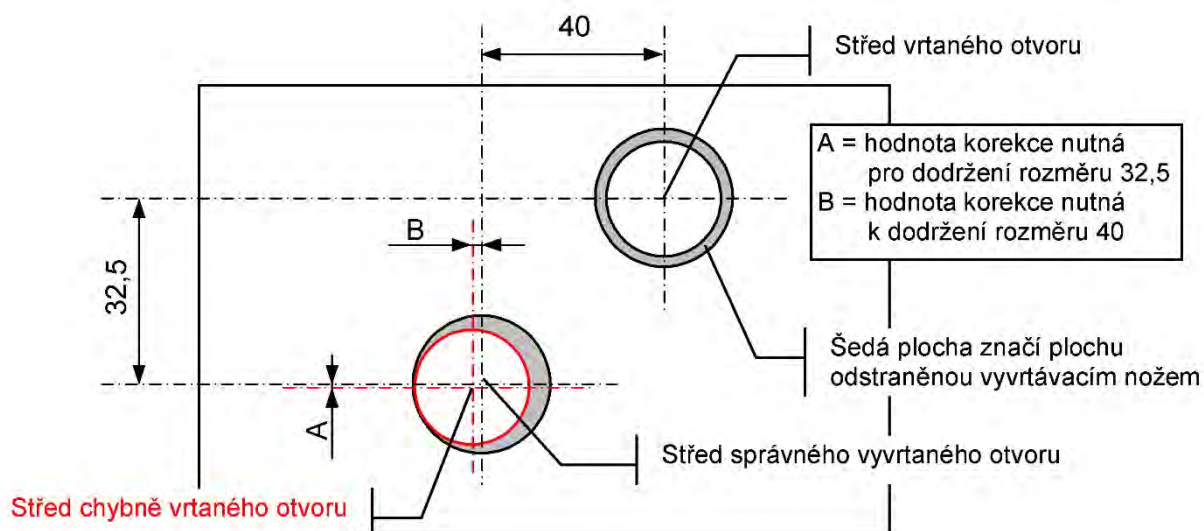
Vybočení vrtáku (obr. 7) může být výsledkem špatně upnutého vícebřitového nástroje nebo může nastat v důsledku nerovnoměrného opotřebení břitů vrtáku. Když je břit opotřeбенý, je na něho vyvíjen větší řezný odpor. Tato síla unáší nástroj ve směru ostřejšího břitu. Pomocí výstružníku není možné toto vybočení napravit, neboť má tendenci kopírovat původní otvor. Odchylka může být napravena pouze jednobřitým nástrojem – vyvrtávacím nožem, používaným právě u vyvrtávání. [12]



Obr. 7 Chyba vyosení a oprava vyvrtávacím nožem [12]

Jedna z velkých výhod užívání vyvrtávacích hlav s jednobřitým nástrojem je jejich schopnost opravit správnou polohu otvoru nebo několika otvorů. Je to možné díky tomu, že jednobřítý nástroj může odebrat větší množství z jedné strany otvoru než z druhé. [12]

Na obrázku (obr. 8) je vidět, že původní vyvrtaný otvor je mimo toleranci. Jinými slovy středová vzdálenost mezi otvory není správná (Odchyšky A a B). Jednoduchým přenastavením do správné středové vzdálenosti může být otvor upraven vyvrtáváním do své správné polohy. Nicméně tato operace může být úspěšná pouze tehdy, pokud je dostatečně velký přírůstek na vyvrtávání. [12]



Obr. 8 Oprava polohy otvoru [12]

Z výše uvedených výhod samozřejmě plynou i nevýhody, vyvrtávací nástroj se musí před použitím sestavit a nastavit na požadovaný rozměr, který je obvykle potřeba na prvním otvoru doladit, tedy prodlouží se čas přípravy obrábění a zvyšují se nároky na obsluhu. Pro přesnější a komfortnější nastavování vyvrtávacích nástrojů je vhodné použít seřizovací přístroj.

Jako další nevýhodu při výrobě menších otvorů je třeba zahrnout vyvrtávací stroj, vystružováním lze vyrobit odpovídající otvor i na méně tuhých strojích např. sloupových vrtačkách na kterých vyvrtávat nelze. S tím souvisí také nutné požadavky na vyvrtávací stroj, především musí disponovat strojním posuvem v ose vřetena a pro zhotovení dobrého povrchu musí být dostatečně tuhý. Obecně je vyvrtávání oproti vystružování méně výkonné.

2.5 Geometrie nástroje

Geometrie nástroje musí být brána jako jeden z nejdůležitějších aspektů ovlivňujících vyvrtávání. Obrysové rozměry a úhly jsou pro vyvrtávací nářadí důležitější než pro soustružnické nože. Pokud používáme vyvrtávací nože z rychlořezné oceli, měli bychom dodržovat úhly doporučené výrobcem. Hodnoty těchto úhlů lze získat z tabulek publikovaných většinou výrobců obráběcích nožů. [12]

Při používání vyměnitelných břitových destiček (VBD) ze slinutého karbidu je geometrie břitu dána. Výrobci VBD rozdělují různé tvary a materiály dle charakteru vyvrtávání, tj. dle jakosti obráběného materiálu a zdali se jedná o hrubování nebo dokončování. [12]

Geometrie nástroje v bodu řezu je stejně důležitá při používání vyvrtávacích nožů z rychlořezné oceli i z tvrdokovu. S tvrdokovovými nástroji můžeme samozřejmě podstatně zvýšit řeznou rychlost. Nářadí vyrobené ze slinutého karbidu má navíc výhodu v tuhosti (tříkrát větší než ocel). Toto je nejdůležitější v případech, kdy vyvrtávací nůž narazí na dno otvoru nebo když dojde k nežádoucímu odtlačování břitů. [12]

Při použití slinutého karbidu musíme věnovat pozornost, aby nedocházelo k tření břitů naprázdno o již vyvrtaný povrch otvoru. Toto odírání může být pro břit nástroje mnohem škodlivější než vlastní obrábění. [12]

2.6 Řezné podmínky

Při vyvrtávání se volba řezných podmínek řídí v zásadě stejnými pravidly jako při soustružení. Průřez třísky je zde však do značné míry ovlivněn tuhostí vyvrtávacího nástroje. Pro velká vyložení vyvrtávacích tyčí a pro vyvrtávací tyče malých průřezů se musí volit velmi malé posuvy vyvrtávání. [13]

2.6.1 Řezná rychlost

Vyvrtávací nástroj se otáčí určitou rychlostí danou počtem otáček za minutu a vytváří díru o určitém průměru. S tím souvisí konkrétní hodnota řezné rychlosti v_c měřená na břitě, jenž závisí především na obráběném materiálu a materiálu řezné části nástroje, má přímý vliv na životnost nástroje [14]. Orientační hodnoty řezných rychlostí jsou uvedeny v tabulce 1. V případě použití destiček s normalizovaným tvarem dle ISO se parametry řezu volí podle doporučených údajů výrobce. Tyto destičky by měly mít takový utvařecí třísek, aby při vyvrtávání vznikala utvářená lánaná tříska. Při volbě vysoké řezné rychlosti nebo obrábění otvoru malého průměru je nutné zkontrolovat maximální otáčky nástroje a stroje, nesmí dojít k jejich překročení.

Tab. 1 Doporučené řezné rychlosti pro vyvrtávání [13]

Obráběný materiál	Pevnost [MPa] tvrdost	Řezná rychlost [m/min]			Druh SK
		hrubování	na čisto	jemné	
Ocel uhlíková	do 500	70–100	200–250	250–350	F1, S1
	500–700	55–70	150–220	150–250	
	přes 700	30–50	80–120	100–200	
Ocel slitinová	850–1000	30–50	95–150	120–170	
	1000–1300	25–30	50–80	90–120	
	1300–1800	20–30	30–50	50–90	
Litá ocel	300–700	25–50	60–120	100–150	G1
	přes 700	20–30	30–50	60–100	
Litina	do 180HB	60–90	80–110	80–130	
	180–250HB	40–60	50–80	70–100	
	přes 250 HB	30–50	40–60	50–70	
Měď		200–300	250–400	250–500	
Mosaz		150–250	200–300	200–300	
Bronz		100–200	150–300	150–350	
Hliník		150–1000		800–2000	
Slitiny hořčíku		150–800		700–1500	

2.6.2 Hloubka řezu

Hloubka řezu a_p je dána rozdílem mezi neobrobeným a obrobeným poloměrem otvoru [14]. Pro hrubování se volí z tabulek výrobce s ohledem na podmínky obrábění, maximální hloubka řezu se obvykle pohybuje kolem několika milimetrů. Pro jemné vyvrtávání (dokončování) se doporučuje hloubka řezu 1 až 1,5násobek poloměru špičky řezné destičky. [15]

2.6.3 Posuv

Pohyb nástroje v axiálním směru se nazývá rychlost posuvu a udává se v milimetrech na otáčku. Rychlost posuvu se vypočte vynásobením posuvu na zub efektivním počtem zubů (počet zubů, které vytvářejí konečný povrch). Hodnota rychlosti posuvu je klíčová veličina určující kvalitu obrobené plochy a má zásadní význam také z hlediska dosažení vhodného utváření třísky, odpovídajícího možnostem geometrie použité břitové destičky [14]. Orientační hodnoty posuvů pro vyvrtávání jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Doporučené posuvy pro vyvrtávání [13]

Obráběný materiál	Pevnost [MPa]	Posuv [mm/ot]		
		hrubování	na čisto	jemné
Ocel uhlíková	do 600	1,6	0,1–0,2	0,05–0,08
	přes 600	1,4		0,04–0,07
Ocel slitinová	850–1000	1,2		0,05–0,08
	1000–1300	0,8		0,04–0,07
	1300–1800	0,4		0,03–0,06
Litina	do 220	1,6		0,05–0,10
	přes 220	1,6		0,04–0,08
Měď a slitiny mědi		1,6		0,03–0,06
Hliník a slitiny lehkých kovů		1,6		0,03–0,10

2.6.4 Procesní kapaliny

Nedílnou součástí obrábění je prostředí, v kterém obrábění probíhá. Řezné prostředí může být tvořeno různými látkami, pokud je tvořeno pouze vzduchem jedná se o obrábění za „sucha“. Nejpoužívanější jsou procesní kapaliny ředitelné vodou (emulze), neředitelné vodou (řezné oleje) a olejové mlhy. Tyto kapaliny slouží především k chlazení, odvodu třísek a mazání.

Chlazení má příznivý účinek na dodržení válcovitosti. Snižuje tepelné dilatace. [15] Prodlužuje životnost nástroje. Pokud je to možné, je ideálním řešením zaplnit otvor chladicí kapalinou. Tím se značně sníží teplota v místě řezu a současně napomáhá odstraňovat třísky z otvoru. Chlazení by mělo být použito vždy, kdykoli to materiál a obráběcí stroj umožňují. [12]

Odvádění třísek je také významným faktorem při vyvrtávání, obzvláště pokud jde o slepé otvory. Tento problém se v podstatě nedá úplně eliminovat a jsme nuceni se uchýlit ke kompromisu. Na jednu stranu se snažíme použít co největší vyvrtávací nůž nebo tyč, na druhou stranu by se otvor neměl ucpat tak, aby překážel odvodu třísek. Vyvrtávání průchozí díry představuje v tomto směru o něco lepší podmínky i v případě použití většího průměru tyče. [12]

Při obrábění kubickým nitridem boru (CBN) kalených ocelí (CBN by měl být zásadně používán pro obrábění materiálů o tvrdosti nad 48 HRC) je velmi vhodné chlazení vzduchem, v žádném případě se nesmí používat chlazení emulzí. [15]

2.7 Přesné vyvrtávání

Přesné někdy též jemné vyvrtávání je dokončovací metoda třískového obrábění. Při této technologické operaci se snažíme dosáhnout co nejvyšší rozměrové a geometrické přesnosti spolu s nejlepší strukturou povrchu. Dochází k úběru malé třísky. Řezné odpory by měly být co nejmenší, ale plocha třísky musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k odtlačování materiálu řezným břitem, to by vedlo k výraznému zhoršení kvality povrchu.

Běžně dosahovaná přesnost vyvrtávání těmito nástroji je IT6 až IT5 s drsností povrchu nižší než Ra 0,8. Lze dosáhnout i vyšší přesnosti a kvality povrchu. Obvykle prvním limitujícím faktorem jsou požadované geometrické tolerance otvoru.

Nástroje pro přesné vyvrtávání umožňují seřízení průměru s přesností mikrometrů. Pokud má být vyvrtávací nástroj provozován při vysokých otáčkách a současně má přesně obrábět, je téměř nutností ho vyvážit. Vyvážení se provádí pomocí nastavení přidavných kroužků (obr. 9), některé vyvrtávací hlavy mají systém vyvažování již integrován do hlavního těla nástroje. Nastavení vyvažovacích protizávaží se provádí dle tabulek dodávaných výrobcem vyvrtávacích hlav.

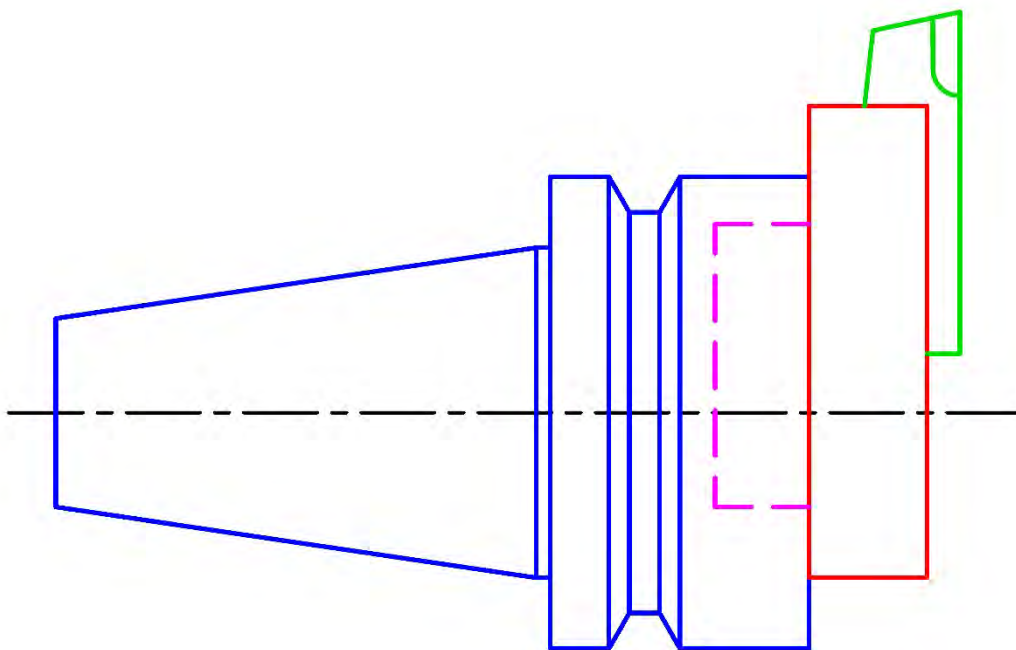


Obr. 9 Vyvažovací kroužek D'ANDREA BLC 80.63 [16]

Při vyvrtávání hlubších otvorů (délka větší než čtyřnásobek průměru) kdy nelze využít vysunutí vřetena stroje, ale jsou použity redukce, nástavce nebo prodlužovací tyče, je vhodné použít ty, které tlumí vibrace. Tyto prvky s tlumením vibrací mají pozitivní vliv na kvalitu povrchu, není nutné snižovat řeznou rychlost a posuv, dojde ke snížení hlučnosti a prodloužení životnosti VBD ve srovnání s použitím prvku bez tlumení vibrací. [14]

3 PŘESNÉ VYVRTÁVACÍ NÁSTROJE

Vyvrtávací nástroje mohou mít různou podobu a konstrukci, základní části však mají podobné. Schéma uspořádání základních částí vyvrtávacího nástroje můžeme vidět na obrázku (obr. 10), tělo nástroje s upínacím kuželem (modrá), pohyblivé saně (červená) jenž mají proti tělu jeden stupeň volnosti, který je spjat s nastavovacím mechanismem (fialová) a nůž nebo držák VBD (zelená). Dále jsou jednotlivé části vyvrtávacích nástrojů popsány podrobněji.



Obr. 10 Schéma vyvrtávacího nástroje

Každý nástroj musí mít upínací rozhraní, které zajišťuje spojení se vřetenem stroje a toto těleso může tvořit tělo nástroje. Úkolem tohoto spojení je kromě přenosu otáček, sil a kroutících momentů také opakovatelné zajištění polohy nástroje vůči vřetení při výměně nástrojů. Dále toto spojení musí umožňovat přívod řezné nebo chladicí kapaliny, popřípadě přenos energie a dat jeli nástroj vybaven elektronicky řízenou osou či odměřovacím systémem. Nejrozšířenějším rozhraní pro připojení ke stroji jsou strmé kužely ISO a MAS 403 BT jenž se vyrábí v různých provedeních včetně verzí s čelním kontaktem a v několika velikostních řadách. Mezi další možnosti připojení patří kužely HSK-A (DIN 69893) a polygonální kužely PSC (ISO 26623-1) s obchodním názvem Capto. Dříve se pro upínání vyvrtávacích nástrojů používaly morse kužely (DIN 228-B), ty jsou samosvorné ale při obrábění dochází k vibracím, které mohou nástroj uvolnit, proto se musí zajistit klínem. Toto spojení neumožňuje automatickou výměnu nástrojů, proto se s ním můžeme setkat pouze u starých strojů. Je také možno použít nejrůznějších redukcí a nástavců kterých většina výrobců nabízí velké množství včetně jejich vlastních systémů, např. MODULHARD'ANDREA [16] nebo Starflex [17]. Další možností je upínání vyvrtávacích tyčí pomocí válcové stopky do kleštiny typu ER (DIN 6499), držáku Weldon (DIN 1835-B) a hydraulické nebo tepelné upínání nástrojů.

Další části vyvrtávacích nástrojů se liší dle typu a budou popsány v následujících kapitolách, kde jsou popsány základní typy vyvrtávacích nástrojů a jejich možnosti.

3.1 Vyvrtávací tyče

Vyvrtávací tyče se vyrábějí jako hrubovací a dokončovací, dále vícebřité nebo jednobřité. Dále budou popisovány vyvrtávací tyče jednobřité dokončovací (obr. 11), to jsou vyvrtávací nástroje, které mají tělo s menším průměrem než obráběný otvor. Nejčastěji se používají pro výrobu otvorů menších, než je průměr pracovního vřetene vyvrtávacího stroje nebo pro delší průchozí otvory. Při obrábění se zpravidla vyvrtávací tyč zasouvá do obráběné díry nebo jí prochází skrz. Vyvrtávací tyče nepoužívají nástavce ani další příslušenství.

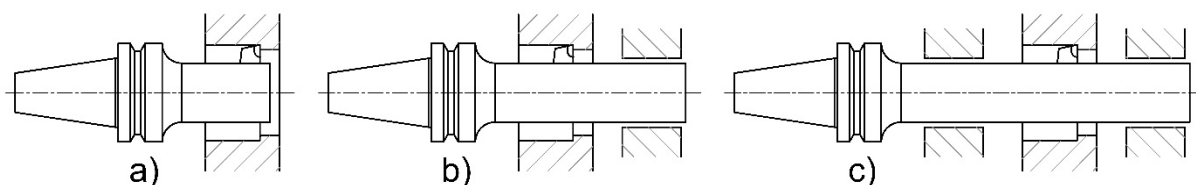
3.1.1 Vyvrtávací tyče s nožovou jednotkou

Řezný břit nebo VBD je umístěna přímo na mechanismu posuvu, který je výměnný podle velikosti a nazývá se nožová jednotka.



Obr. 11 Vyvrtávací tyč Rigidbore řady W1.50SS (upínání Weldon) [18]

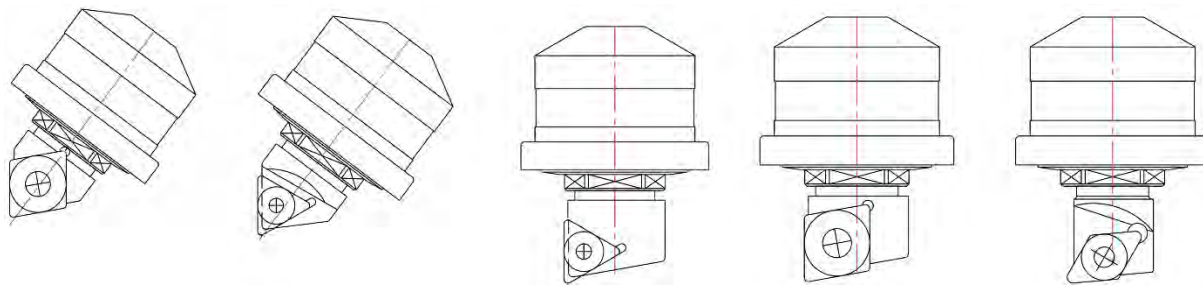
Rozsah nastavení vyvrtávaných průměrů je malý, obvykle kolem 15 mm pro danou velikost vyvrtávací jednotky a tyče. Vyvrtávací tyče vzhledem k tuhosti nebývají vybaveny technologií vnitřního přívodu řezné kapaliny. Tyče mohou být upnuty letmo (obr. 12a) nebo podepřené v jednom (obr. 12b) či dvou ložiscích (obr. 12c).



Obr. 12 Možnosti upnutí vyvrtávacích tyčí [1]

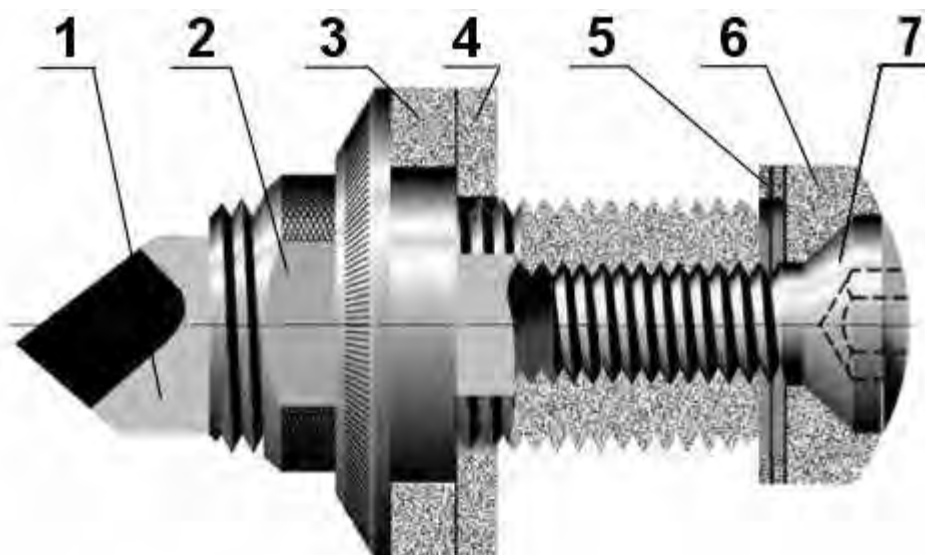
Nožové jednotky vyvrtávacích tyčí mají obvykle mikrometrické šrouby se stoupáním 0,5 mm a přesný rozměr vyvrtávání se nastavuje pomocí otočné matice se stupnicí a noniem. Odstupňování nonia bývá 0,005 mm na průměr. Nastavení tohoto mechanismu není příliš přesné. Z tohoto důvodu se nehodí na nejpřesnější práce, proto jsou dnes nahrazovány malými vyvrtávacími hlavami nasazenými na prodlužujících (zpravidla karbidových) tyčích.

Orientace nožových jednotek (obr. 13) vůči vyvrtávací tyči může být různá, nejčastěji se používá kolmá nebo skloněná tak aby hlavní řezné ostří bylo kolmé k ose rotace nástroje. Nožové jednotky se vyrábějí pro různé tvary a rozměry VBD.



Obr. 13 Nožové jednotky s různou orientací a různými VBD [19]

Před masivním rozšířením VBD se používaly vyvrtávací nožové jednotky s pájenou řeznou destičkou (obr. 14). Popis jednotlivých pozic na obr. 14: 1 – nůž, 2 – matice, 3 – sedlo matice, 4 – tvarová vložka, 5 – pružná podložka, 6 – podložka, 7 – šroub.



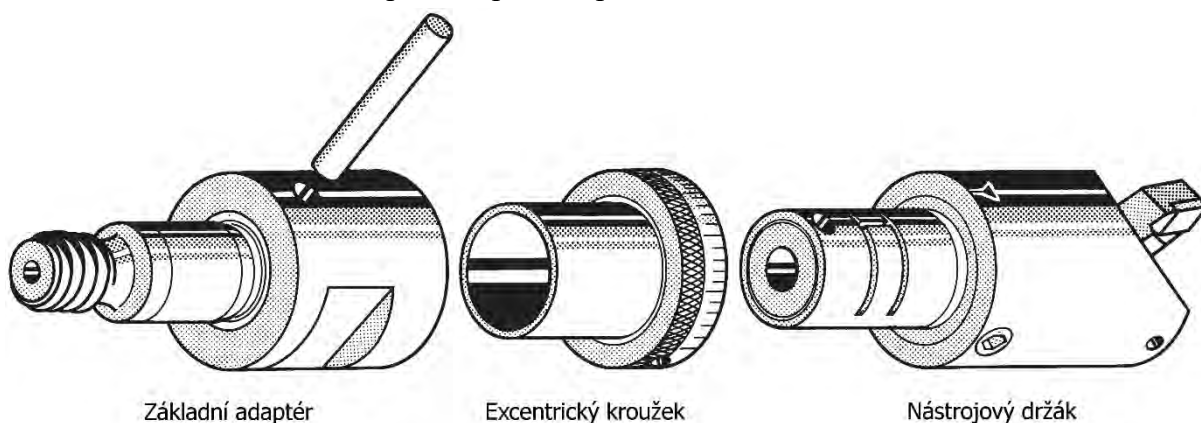
Obr. 14 Řez a popis šikmé nožové jednotky Pilana MCT PN 24 2428 [15]

Nastavení vyvrtávací nožové jednotky Pilana MCT PN 24 2428

1. Hrubé nastavení se provede uvolněním zpevňovacího šroubu a otáčením matice se stupnicí se vysune nůž na přibližný rozměr (cca o 0,1 mm menší). Po nastavení se zpevňovací šroub dotáhne nadoraz a vrátí zpět o cca 90°. Provede se první vyvrtávání.
2. Dle naměřené hodnoty se nastaví přesně požadovaný rozměr. Při přídatku větším než 0,3 mm opakujeme nastavení postupem pro hrubé nastavení, bod 1.
3. Při přídatku menším než 0,3 mm se netočí se zpevňovacím šroubem. Korekce průměru se nastavuje pouze otáčením matice se stupnicí. Stupnice má dělení 1 dílek = 0,02 mm/Ø a pomocí nonia lze nastavovat po 0,005 mm/Ø. Na daný rozměr otáčejte vždy doprava. Pokud je třeba otvor zmenšit o 0,02 mm, uberte o 0,1 mm doleva a ihned poté přidejte 0,08 mm. POZOR! zpevňovací šroub se nedotahuje! [15]

3.1.2 Vyvrtávací tyče s excentrickým mechanismem

Vyvrtávací tyče s excentrickým mechanismem (obr. 15) fungují na principu excentrického kroužku. Pokud je s excentrem otáčeno spodní část nástroje s řezným břitem je vytlačena mimo osu rotace, tento mechanismus není samosvorný a musí se před roztočením nástroje aretovat. Aretace bývá zajištěna nejčastěji pomocí šroubu. Velikost přestavení břitu je dvojnásobek excentricity funkční součásti. Tento mechanismus není lineární! Nelze použít nonius. Mechanismus je funkční maximálně polovinu otáčky excentrickým členem, v druhé půli otáčky dochází k návratu do výchozí polohy. Obvykle je použit jako jemný mechanismus pro přesné nastavení, hrubé nastavení se provádí pomocí přestavení řezného břitu.



Obr. 15 Konstrukční princip excentrického mechanismu vyvrtávacího nástroje [17]

3.1.3 Vyvrtávací tyče s nožovou kazetou

Vyvrtávací tyče s nožovou kazetou (obr. 16) vznikly úpravou nožových kazet pro stavebnicové vyvrtávací systémy do kompaktního provedení, jenž je možno instalovat na tyče malých průměrů. Tyto nástroje jsou určeny k nahrazení výstružníků v sériové výrobě. Na současném trhu se vyskytuje mnoho nožových kazet s různou přesností nastavení. Vyvrtávací tyč MicroCut firmy Johne & Co. je stavitelná po 2 μm na průměru a vyrábí se velikostech 12–28 mm. [17]



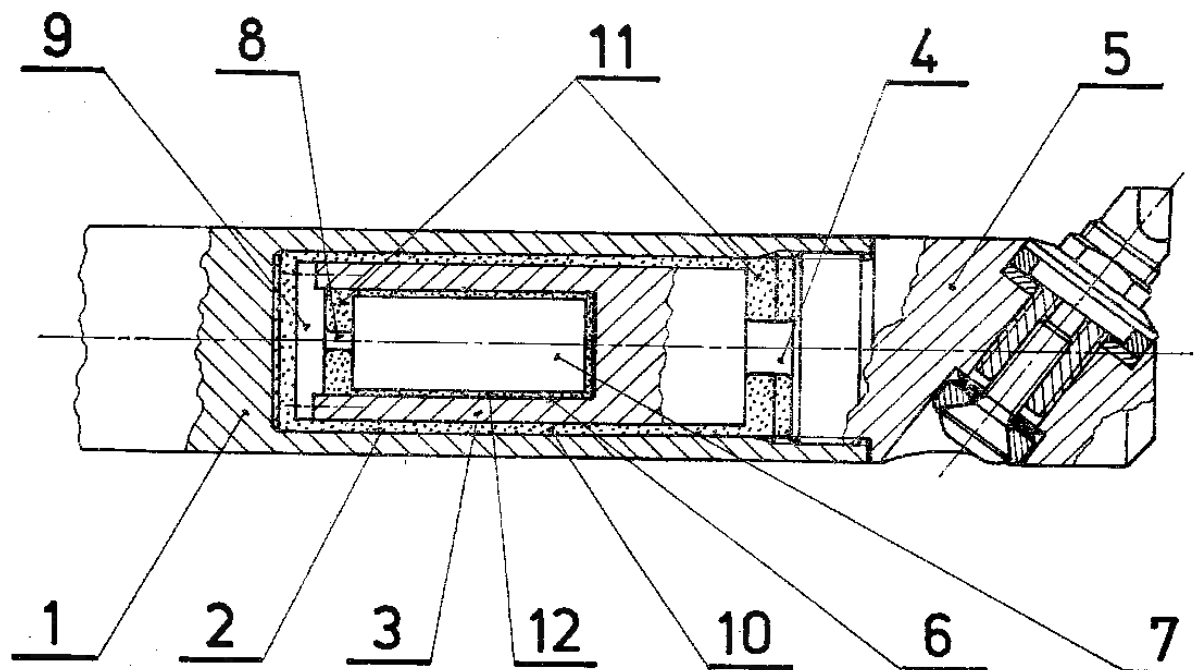
Obr. 16 Vyvrtávací tyč s nožovou kazetou Johne & Co. MicroCut [17]

3.1.4 Vytvářecí tyče s tlumičem vibrací

Pro některé operace obrábění jsou potřebné dlouhé vytvářecí tyče. Použijeme-li standardní vytvářecí tyče, jsou velmi náchylné ke vzniku vibrací, což vede k nestabilnímu obrábění, ke zkrácení trvanlivosti břitu nástroje a ke zhoršené kvalitě obrobeného povrchu, jev se dnes označuje jako chatter. Pracovní prostor, který máme k dispozici pro danou operaci obrábění, je většinou omezený a zvětšení průměru vytvářecí tyče s cílem zvýšení stability vytváření není ve většině případů možné a ani účelné vzhledem k neúměrnému zvýšení hmotnosti tyče. Snížení amplitudy kmitání vytvářecí tyče je možné dosáhnout použitím tlumiče vibrací. Tlumič vibrací má za úkol minimalizovat amplitudu vibrací kmitajícího systému. Zatímco aktivní tlumič systému vynuceného kmitání energii cíleně dodává. Pasivní tlumič kmitání pohybovou energii kmitajícímu systému odebírá. Přeměna energie při použití pasivního tlumiče má dvě složky. Za prvé kinetická energie pomocné přidané hmoty působí proti kmitání tyče a ohybové kmitání vytvářecí tyče je tak brzděno. Za druhé efekt tlumení působí také změna energie kmitání vazby mezi vytvářecí tyčí a přidanou hmotou. Maximálního tlumení je možné dosáhnout, jsou-li poloha a přidaná hmota tlumiče, jakož i tuhost a vlastnosti tlumení spojených elementů tyče ideálně vzájemně sladěny. [20]

Provedení dvouhmotového tlumiče vibrací vytvářecích tyčí (obr. 17) je v České republice chráněno autorským osvědčením AO 229 530 z roku 1986. Popis jednotlivých pozic na obr. 17: 1 – vytvářecí tyč, 2 – válcová dutina, 3 – první hmota tlumiče, 4 – pružný prvek, 5 – držák nože, 6 – válcová dutina, 7 – druhá hmota tlumiče, 8 – pružný prvek, 9 – příruba, 10 – mezera, 11 – olej, 12 – mezera. [21]

Tlumič funguje tak že při vynuceném nebo samobuzeném kmitání vytvářecí tyče 1 vzniklém při obrábění, obě hmoty 3, 7 tlumiče kmitají v radiálním směru a svými dynamickými účinky potlačují kmitání vytvářecí tyče 1. Podstatné snížení amplitudy kmitů tyče výrazně zlepšuje kvalitu povrchu vytvářaného otvoru, eventuálně umožňuje obrábění vůbec. [21]



Obr. 17 Vytvářecí tyč s dvouhmotovým tlumičem vibrací [21]

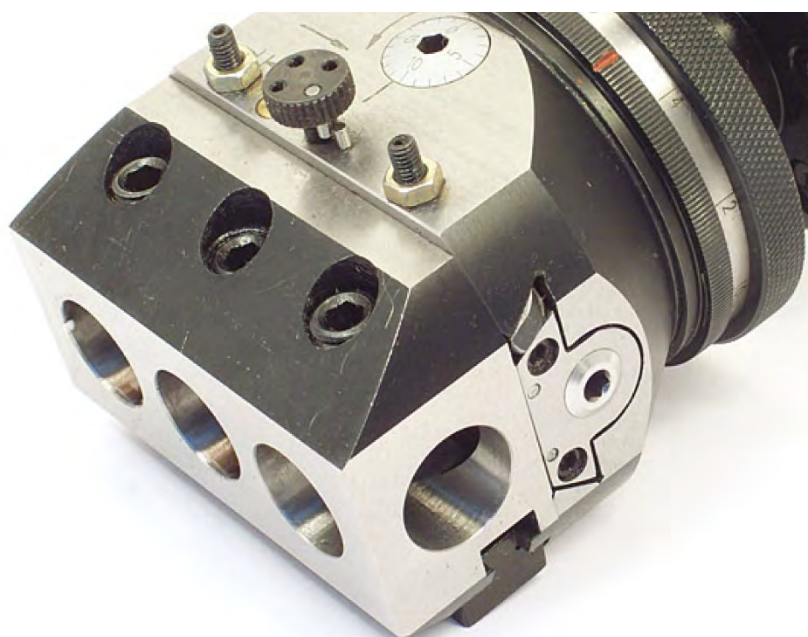
3.2 Vyvrtávací hlavy

Nejrozšířenějším nástrojem pro vyvrtávání jsou vyvrtávací hlavy (obr. 18). Jejich rozšíření a obliba je způsobena bohatým příslušenstvím, širokými možnostmi použití, velkým rozsahem nastavení obráběných průměrů, jednoduchým nastavením a přesností práce. Přehled uspořádání hlavních částí byl popsán v úvodu kapitoly.



Obr. 18 Vyvrtávací hlava D'ANDREA TRM 50/50 [16]

Pohyblivá část, nazývaná saně (obr. 19), slouží k upnutí samotné řezné části, tedy nože, držáku VBD nebo prodlužujícího nástavce a k tomu je uzpůsobena. S tělem je spojena pomocí rybinovitého nebo jiného typu uložení. Jedná se vždy o uložení s vůlí, při vyvrtávání jsou saně aretovány pomocí šroubu v těle. Mezi saněmi a tělem se nachází mechanismus přesného nastavení polohy saní vůči tělu. Těchto mechanismů je více typů a jsou hlavním rozdílem mezi jednotlivými typy hlav a jejich výrobci, proto se jimi budeme zabývat podrobněji dále.



Obr. 19 Detail saní s rybinovým vedení univerzální vyvrtávací hlavy [22]

Ostatní součásti vyvrtávacích hlav jsou si konstrukčně velmi podobné a zastávají stejné funkce. Jedná se zejména o nástrojové držáky pro upnutí samotných hlav (obr. 20), různé druhy upevnění nože, držáky VBD nebo nástavce. Nástrojové držáky a nástavce mohou být buď ocelové nebo tvrdokovové a v případě jejich značných délek vůči průměru mohou obsahovat tlumiče vibrací, jenž jsou shodné s těmi, které byli popsány v kap. 3.1.4 o vyvrtávacích tyčích.



Obr. 20 Vyvrtávací hlava upnuta na nástrojovém držáku SD s potlačením vibrací [23]

Další konstrukční skupinu tvoří přívod řezné kapaliny k břitů nože nebo VBD. Při vyvrtávání hlubokých otvorů nemusí být externí chlazení dostačující, ideální volbou je chlazení středem vřeteně (obr. 21), to však musí obráběcí stroj umožňovat, nebo vyvrtávaný otvor zaplnit kapalinou. Přívod řezné kapaliny v nástroji musí být dimenzován na požadovaný tlak a průtok. Běžně se pro vnitřní chlazení vřetenem používají tlaky 20 bar a průtok kolem 100 l/min, pokud je zapotřebí zajistit spolehlivý odvod třísek při vyvrtávání hlubokých slepých otvorů používají se tlaky až 80 bar, průtoky jsou pak nižší obvykle kolem 50 l/min. Kanálky pro řeznou kapalinu ve vyvrtávacích nožích, držácích VBD a nástavcích zmenšují průřez a zhoršují mechanické vlastnosti (ohyb, krut, tuhost), proto někteří výrobci používají trysky umístěné na čele těla vyvrtávací hlavy nebo rozšiřující lišty.



Obr. 21 Přesná vyvrtávací hlava Walter B3230 s vnitřním chlazením a vyvažováním [24]

Posledním trendem u vyvrtávacích nástrojů je doplnění o elektronické prvky přímého odměřování posuvu saní vůči tělu nástroje se zobrazovacím displejem přímo na těle nástroje nebo pomocí pinů připojitelnou externí jednotkou (obr. 22), která slouží pro nastavení nástroje a před vyvrtáváním se odejme. Pomocí těchto zařízení se eliminují chyby obsluhy při nastavování přesného průměru vyvrtávání.



Obr. 22 Vyvrtávací hlava Wohlhaupter VarioBore s digitální jednotkou 3E TECH [25]

3.2.1 Vyvrtávací hlavy s mikrometrickým šroubem

Nejrozšířenějším typem vyvrtávacích hlav je typ s mikrometrickým šroubem (obr. 22). Tento šroub je rotačně a axiálně uložen v těle nástroje. Jeho závit při otáčení zabírá do matice, která je součástí saní nebo je k saním uchycena. Důležitým parametrem je stoupání závitu šroubu, obvykle to je 0,5 mm. Stoupání určuje o kolik se posunou saně vůči tělu za jednu otáčku šroubu. Rozdíl nastavení vyvrtávaného průměru je vždy dvojnásobek radiálního posuvu saní. Pro usnadnění nastavení je šroub opatřen stupnicí a tělo ryskou. Stupnice bývá rektifikována z posuvu saní na rozdíl nastavení průměrů. Pro přesné nastavení může být na těle místo rysky vyhotovena stupnice nonia. Velikost přestavení průměru na jednu otáčku, pootočení o jeden dílek základní stupnice a pootočení o jeden dílek stupnice nonia bývá vyznačena na těle nástroje poblíž základní stupnice.

Méně častý je opačný typ konstrukce (obr. 23), tedy šroub je uložen v saních a matice je součástí těla nástroje. V tomto případě musí být nastavovací ryska nebo stupnice nonia umístěna na saních, protože šroub se pohybuje v radiálním směru se saněmi.



Obr. 23 Vytvářecí hlava PINZBOHR Micro boring heads [26]

3.2.2 Vytvářecí hlavy se šroubem a převodem

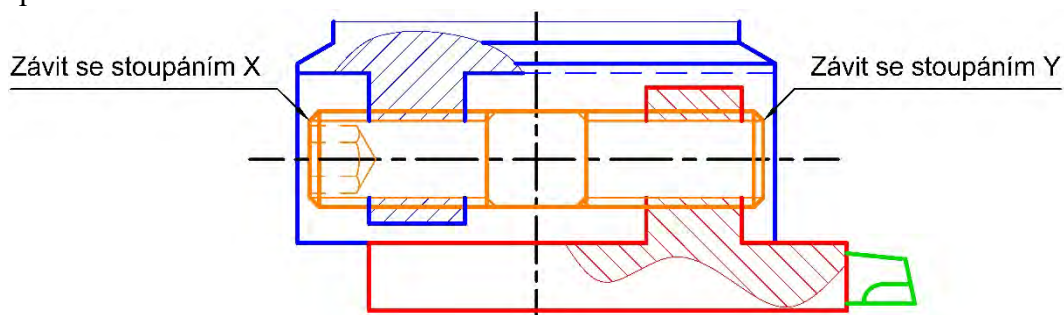
Vytvářecí hlavy se šroubem a převodem (obr. 24) jsou druhým nejzastoupenějším typem konstrukce. Stejně jako vytvářecí hlavy se šroubem pro posuv saní využívají posuvový šroub, rozdíl spočívá v tom, že na jeho konci je umístěno ozubené kolo. Do tohoto ozubeného kola zabírá šnek na hřídelce se stupnicí. Tím oproti vytvářecí hlavě se šroubem získáme samosvorný převod do pomala dle počtu chodů šnekového kola a zubů ozubeného kola. Při použití šroubu stejného stoupání získáme mnohem přesnější možnost nastavení. Obvykle se v těchto mechanismech nepoužívá nonius a používá se větších stoupání posuvového šroubu z důvodu snazší a přesnější výroby a také větší stykové plochy závitů vzhledem k předpokládané větší životnosti. Typickým poznávacím znakem těchto mechanismů je že nastavovací volič se stupnicí má osu rotace kolmou ke směru pohybu saní.



Obr. 24 Vytvářecí hlava D'ANDREA TRM 80/125 [16]

3.2.3 Vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností

Princip mechanismu vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností (obr. 25) je založen na dvou závitech se stejným smyslem stoupání, ale rozdílnou velikostí stoupání. Tedy v těle nástroje je matice se stoupáním X, do ní zabírá posuvový šroub, který má na obou koncích závity, na jednom konci se stoupáním X, na druhém konci se stoupáním Y. Při otočení posuvovým šroubem o jednu otáčku se posune posuvový šroub o vzdálenost X, současně však dochází k záběru druhé strany posuvového šroubu do matice sání se stoupáním Y a k posuvu sání o stoupání Y vůči posuvovému šroubu. Z toho plyne že posuv sání vůči tělu nástroje je dán rozdílem stoupání X a Y. Pokud je stoupání X větší než stoupání Y, posuv sání probíhá ve směru posuvu šroubu. Pokud je stoupání X menší než stoupání Y, posuv sání probíhá proti směru posuvu šroubu.



Obr. 25 Schéma vyvrtávací hlavy s mechanismem se zvýšenou přesností

Z výše popsaného principu uspořádání vyplývá že pomocí dvou závitů blízkého stoupání dokážeme docílit velmi malého posuvu sání na otáčku, čím menší bude rozdíl stoupání tím menší bude posuv sání, to nám umožňuje velmi přesné nastavení. Konstrukční nevýhodou je že posuvový šroub se posouvá v těle nástroje základním stoupáním, to nám dává jen několik funkčních otáček posuvového šroubu, než dojde ke kolizi s druhým stoupáním nebo vyšroubováním posuvového šroubu z těla nástroje ven. Proto firma Narex MTE [12] u svých vyvrtávacích hlav se zvýšenou přesností (obr. 26) používá v těle nástroje otočnou matici s možností aretace. To znamená že vyvrtávací hlava má dva stupně nastavení. Hrubé nastavení probíhá s volně otočnou maticí, to znamená že posuv sání zajišťuje pouze stoupání Y. Vyřazení stupně volnosti stoupání X je realizováno brzdíčkou, která funguje na principu tření. Přesné nastavení se provádí aretací matice se stoupáním X, pak mechanismus funguje jako by matice se stoupáním X byla součástí těla.



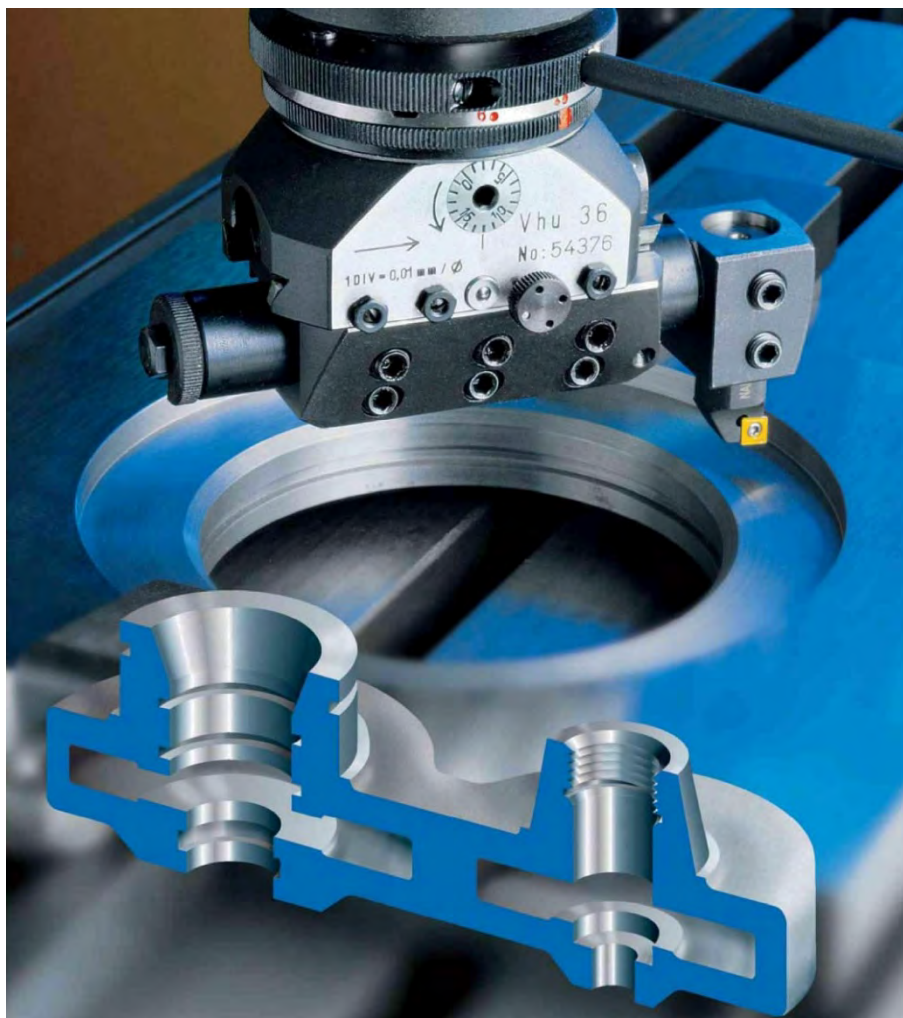
Obr. 26 Vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností Narex MTE Vh 70 [12]

3.2.4 Vytvářecí hlavy s excentrickým mechanismem

Excentrický mechanismus vytvářecích hlav je shodný s excentrickým mechanismem vytvářecích tyčí, jenž byl popsán v podkapitole 3.1.2. Toto řešení není příliš rozšířené z důvodu složité výroby excentrických dílů vysoké přesnosti.

3.3 Vytvářecí hlavy univerzální

Samostatnou skupinou jsou vytvářecí hlavy univerzální (VHU), někdy též automatické vytvářecí hlavy (obr. 27). Na první pohled jsou podobné výše popisovaným vytvářecím hlavám s posuvovými šrouby, ale jejich vnitřní mechanismus je zcela odlišný. Tyto hlavy se používají převážně k výrobě zápchů, kuželů a soustružení čelních ploch. Samozřejmě umožňují i výrobu válcových otvorů. Z popsanych prací, pro které VHU lze použít, plynou požadavky na posuvový mechanismus jenž neslouží pouze k nastavení saní před obráběním ale také k posuvu saní během obrábění.

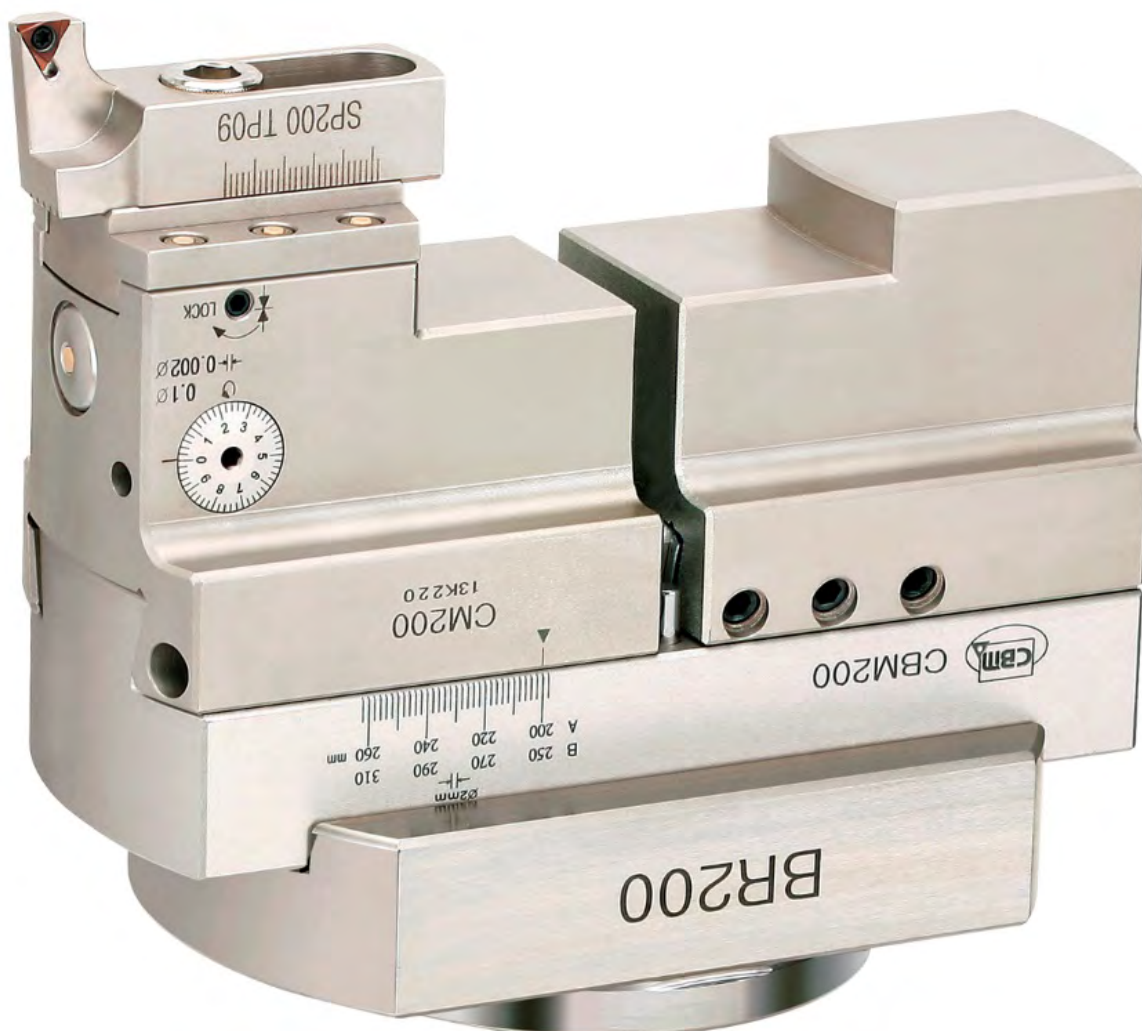


Obr. 27 Vytvářecí hlava univerzální Narex MTE Vhu 36 a technologické možnosti [12]

Náhon posuvového mechanismu VHU je realizován pomocí otáčení vřetena stroje a otočného kroužku umístěného mezi upínací stopkou nebo přírubou a tělem nástroje. A to tak že během obrábění, to je posuvu saní, kroužek nerotuje, ale je držen obsluhou nebo zapřen pomocí přídatné tyče o rám stroje. Popis mechanismu posuvu a jeho funkce by vydal na samostatnou kapitolu, a proto nebude v této práci uveden. Nastavení posuvu saní vůči otáčkám vřetene se při výrobě kuželů provádí pomocí tabulky výrobce pro daný typ VHU.

3.4 Stavebnicové nástroje

Stavebnicové vyvrtávací nářadí (obr. 28) se používá pro výrobu přesných otvorů větších průměrů, řádově 150–600 mm. Tyto nástroje se skládají z upínací části, těla, ramen, nožových vyvrtávacích jednotek a někdy protizávaží. Používají se jak pro dokončování, tak pro hrubování dle zvolené vyvrtávací jednotky.



Obr. 28 Stavebnicový vyvrtávací nástroj RBH CBM 200 [27]

Přesné vyvrtávací jednotky a kazety mají obdobnou konstrukci posuvového mechanismu jako vyvrtávací hlavy. Používají se také kazety s břitem nebo VBD umístěnými na držáku, jehož část je šroubem rozevírána – posouvána do záběru. Část držáku je elasticky deformována dle Hookeova zákona. Vyvrtávací průměr se nastavuje na seřizovacím přístroji nebo pomocí koncových (Johanssonových) měrek. Jednotky a kazety se k ramenům nejčastěji připevňují pomocí šroubů. Součásti jsou opatřeny rybinovým vedením nebo dosedací plochy mají drážkování pro zajištění přesné polohy a lepší přenos sil, nejčastěji se jedná o profily vyrobené pomocí závitové frézy (např. ČSN 22 3381) nebo speciální profily jednotlivých výrobců, které způsobují nekompatibilitu stavebnic navzájem. Vzhledem ke značným rozměrům sestav a hmotnostem jednotlivých dílů stavebnice je vhodné pro přesné vyvrtávání vyvrtávací sestavu vyvážit. Závaží se umísťuje symetricky proti vyvrtávací jednotce a cílem je dostat těžiště sestavy na osu rotace, tedy statické vyvážení.

3.5 Vyvrtávací mosty

Vyvrtávací mosty (obr. 29) se používají pro vyvrtávání přesných otvorů největších průměrů 300–3000 mm. Jejich konstrukce je velmi podobná stavebnicovým vyvrtávacím nástrojům, mají však výhodu nižší hmotnosti a je možno je lépe vyvážit. Vyrábějí se však pro menší rozsah vyvrtávaných průměrů a nejsou tedy tak univerzální. Někdy jsou vyvrtávací mosty osazovány přesnými vyvrtávacími hlavami upnutými pomocí kuželů tak jako do vřetene strojů.



Obr. 29 Vyvrtávací most URMA IntraMax [28]

3.6 Lící desky

Vyvrtávací lící desky (obr. 30) se používají k výrobě vnitřních i vnějších tvarů včetně obrábění čelních ploch podobně jako VHU. Hlavní rozdíl proti VHU je v náhonu saní. Saně jsou naháněny přímo z převodovky stroje nebo je pohon integrován přímo do těla nástroje, k tomu musí být obráběcí stroj přizpůsoben. Moderní lící desky využívají přímé odměřování posuvu saní a díky tomu jsou velmi přesné. Největší výhodou proti VHU je nezávislost otáček nástroje na pohybu saní – lze obrábět i obecné rotační plochy.



Obr. 30 Vyvrtávací lící deska KOMET GROUP KomTronic [29]

3.7 Jednoučelové nástroje

Pro velkosériovou výrobu stejných otvorů, kde je odstupňováno několik průměrů je výhodné použít jednoučelové vyvrtávací nástroje (obr. 31). Tělo nástroje má obvykle tvar negativu obráběného otvoru a na něm jsou zabudovány nožové jednotky nebo kazety. Tyto nástroje se vyrábí na zakázku dle konkrétních požadavků. Dokáží dokončit otvor na jeden průchod a jsou tedy velmi produktivní. Obvykle je nelze použít na jiný druh součásti, proto je před pořízením nutné ověřit sériovost vyráběných dílců, aby se nástroj zaplatil.



Obr. 31 Jednoučelový dokončovací vyvrtávací nástroj Johne & Co. [17]

4 NÁVRH, VOLBA A VÝPOČET ŘEŠENÍ

Při návrhu, výpočtu a konstrukci přesné vyvrtávací hlavy bylo vycházeno z informací a vědomostí nabytých z vypracování rešeršní části této práce. Vzhledem k různým stavům přesné vyvrtávací hlavy během obrábění je nutné všechny tyto stavy popsat a náležitě vyhodnotit, jedná se o nastavení vyvrtávací hlavy na požadovaný rozměr, roztočení nástroje na otáčky odpovídající řezné rychlosti, samotné vyvrtávání a zastavení nástroje. Důležité jsou zejména utahovací momenty stavěcích šroubů, maximální otáčky vzhledem k vyložení saní, nástavců a držáků VBD. Dále je třeba konstrukčně vyřešit přívod řezné kapaliny a připojení ke stroji.

4.1 Vstupní parametry

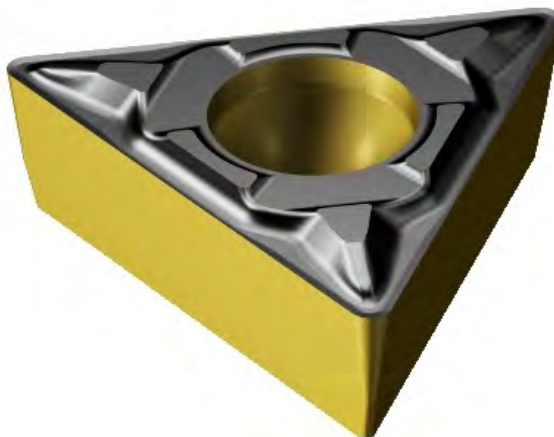
Parametry vyvrtávaného otvoru pro návrh a výpočet přesné vyvrtávací hlavy (tab. 3) byly zvoleny po konzultaci s vedoucím práce. Materiál vyvrtávaného otvoru dle ČSN 14 220 (EN 16MnCr5), předpokládaná kusová a malosériová výroba s častou změnou vyvrtávaného průměru – možnost použití nástavců a příslušenství pro různé průměry vyvrtávání. Obráběcí stroj je horizontální stolová vyvrtávačka s výsuvným vřetenem průměru 100 mm.

Tab. 3 Parametry vyvrtávaného otvoru pro návrh a výpočet

Průměr vyvrtávaného otvoru	D [mm]	120
Hloubka vyvrtávaného otvoru	H [mm]	150
Průměr předvrtaného otvoru	D ₀ [mm]	118
Tolerance otvoru	IT	H7
Drsnost povrchu	Ra [μm]	1,6

4.2 Volba VBD

Vyměnitelná břitová destička zvolena z nabídky firmy Sandvik [14] a to s ohledem na zadané parametry vyvrtávání. Byla zvolena VBD TCMT 11 03 02-PF 4325 (obr. 32). Jedná se o VBD tvaru a velikosti TC1103, je zaměnitelná se všemi VBD tohoto tvaru a velikosti pro vyvrtávání jiných materiálů. Poloměr rohu má 0,2 mm a je určena pro obrábění nízkolegovaných ocelí a šedé litiny. Tato VBD je povlakována povlakem CVD Ti(C,N)+Al₂O₃+TiN.



Obr. 32 Vyměnitelná břitová destička TCMT 11 03 02-PF 4325 [14]

4.3 Volba posuvového mechanismu

Požadavky na posuvový mechanismus saní jsou dány maximálním přestavením saní a nejmenším krokem přestavení saní. Pro vyvrtávání otvorů v přesnosti IT7 byl vzhledem k velikosti tolerančních polí zvolen nejmenší krok 2 μm na průměr. Rozsah přestavení vyvrtávaných průměrů by měl být co největší z důvodu větší variability a menšího počtu příslušenství. Rozsah přestavení na průměru byl zvolen 20 mm.

Pro nejmenší krok 2 μm připadají v úvahu posuvové mechanismy s mikrometrickým šroubem a převodem nebo posuvové mechanismy se zvýšenou přesností. Pro rozsah přestavení na průměru 20 mm prakticky nelze použít posuvový mechanismus s mikrometrickým šroubem a převodem z důvodu neefektivity přestavení. Pokud by výsledný převod představoval posunutí saní na průměru 0,2 mm při jedné otáčce nastavovacím voličem, znamenalo by to pro celkové přestavení saní provést tímto voličem 100 otáček. Proto byl zvolen posuvový mechanismus se zvýšenou přesností.

4.4 Výpočet posuvového mechanismu

Posuvový mechanismus se zvýšenou přesností byl popsán v kapitole 3.2.3 Vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností. Z důvodu rozsahu přestavení na průměru 20 mm bude nutné do konstrukce zahrnout volně otočnou matici pro hrubé nastavení saní s aretací pro jemné nastavení.

Dále bude zvoleno a vypočteno stoupání závitů posuvového šroubu a matic, dělení stupnice a nonia nastavovacího voliče, aretace volně otočné matice a její funkce.

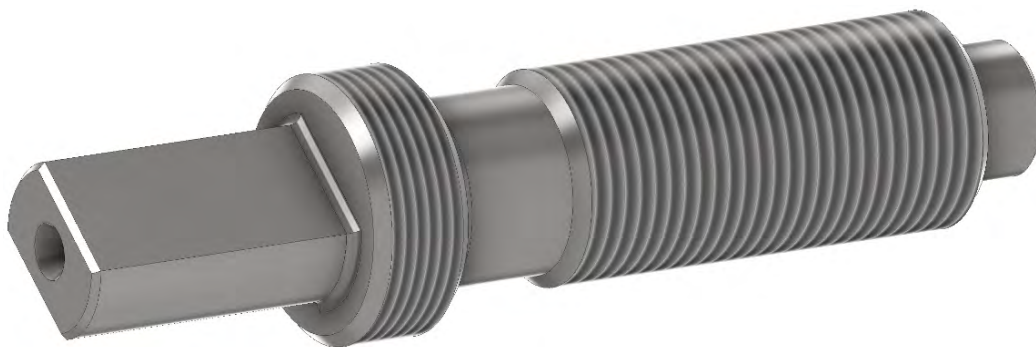
4.4.1 Volba stoupání závitů posuvového šroubu

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2.3 Vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností fungují na principu dvou různých stoupání závitu. Pro snadnější výrobu a kontrolu závitů byly zvoleny normalizované závity dle ISO 261. Rozdíl stoupání o jednu řadu. První závit (dále označován jako X) mezi šroubem a volně otočnou maticí s aretací byl zvolen M20x1 LH [30]. Druhý závit (dále označován jako Y) mezi šroubem a maticí v saních byl zvolen M16x1,25 LH [30]. Rozdíl stoupání je dán rovnicí:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 1,25 - 1 = 0,25 \text{ mm} \quad (1)$$

Kde ΔP [mm] je rozdíl stoupání posuvových závitů šroubu, P_1 [mm] stoupání závitu X posuvového šroubu, P_2 [mm] stoupání závitu Y posuvového šroubu.

Posuvový šroub (obr. 33) slouží k hrubému a jemnému nastavení saní. Šroub je namáhán pouze od překonání tření mezi tělem nástroje a saněmi. Před roztočením nástroje jsou saně aretovány k tělu nástroje a posuvový šroub nepřenáší žádné zatížení, proto není nutné provádět jeho pevnostní výpočet a kontrolu otlacení závitů.



Obr. 33 Posuvový šroub

4.4.2 Volba dělení nastavovací stupnice a nonia

Ze zvolených stoupání posuvového šroubu plynou charakteristiky posuvového mechanismu. Stoupání závitu Y udává hrubý posuv saní, změna vyvrtávaného průměru je dvojnásobná dle:

$$\Delta D_{Hv} = 2 \times P_2 = 2 \times 1,25 = 2,5 \text{ mm} \quad (2)$$

Kde ΔD_{Hv} [mm] je rozdíl nastavení vyvrtávaného průměru na otáčku šroubu při hrubém nastavení. Rozdíl stoupání závitů určuje jemný posuv saní, změna vyvrtávaného průměru je dvojnásobná dle:

$$\Delta D_{Jv} = 2 \times \Delta P = 2 \times 0,25 = 0,5 \text{ mm} \quad (3)$$

Kde ΔD_{Jv} [mm] je rozdíl nastavení vyvrtávaného průměru na otáčku šroubu při jemném nastavení. Z tohoto parametru budeme dále vycházet. Pokud má být nejmenší krok posuvu $\Delta d_{Jvn} = 2 \text{ } \mu\text{m}$ na průměr pak:

$$k_{Jm} = \frac{\Delta D_{Jv}}{\Delta d_{Jvn}} = \frac{0,5}{0,002} = 250 \quad (4)$$

Kde k_{Jm} [–] je počet jemných kroků na otáčku. Jednu otáčku je tedy potřeba rozdělit na 250 kroků, toho lze docílit pomocí stupnice s 250 dílky, která se nastavuje proti rysce. Je však důležité správně zvolit velikost dílků. Nástroj bude používán ve výrobních prostorech, kde nemusejí být zajištěny ideální světelné podmínky, proto je nutné zvolit dostatečnou velikost dílků se zaručenou rozlišitelností. Pokud zvolíme velikost jednoho dílku $v_{dil} = 1 \text{ mm}$ pak:

$$\phi D_{vol} = \frac{O_{vol}}{\pi} = \frac{k_{Jm} \times v_{dil}}{\pi} = \frac{250 \times 1}{\pi} = 79,6 \text{ mm} \quad (5)$$

Kde ϕD_{vol} [mm] je průměr nastavovacího voliče a O_{vol} [mm] je jeho obvod. Je zřejmé že průměr téměř 80 mm je příliš velký na integrování do těla nástroje. Proto je vhodné použít nonius díky kterému se počet dílků na voliči výrazně sníží, je však zapotřebí na těle nástroje vyrobit příslušné rysky nonia. Bylo zvoleno pět dílků nonia k_{non} [–], pak:

$$k_{voln} = \frac{k_{Jm}}{k_{non}} = \frac{250}{5} = 50 \quad (6)$$

Kde k_{voln} [–] je počet dílků voliče pro použití s noniem. Z důvodu přesnějšího nastavení nonia a vzhledem k tomu že dílky nonia jsou menší než dílky stupnice, byli zvětšeny dílky stupnice pro použití s noniem v_{diln} [mm] na 2,5 mm, pak:

$$\phi D_{voln} = \frac{O_{voln}}{\pi} = \frac{k_{voln} \times v_{diln}}{\pi} = \frac{50 \times 2,5}{\pi} = 39,8 \text{ mm} \quad (7)$$

Kde ϕD_{voln} [mm] je průměr nastavovacího voliče pro použití s noniem a O_{voln} [mm] je jeho obvod. Tato volba vyhovuje zadání a je realizovatelná. Nastavovací volič se stupnicí k ovládání posuvového šroubu bude mít průměr 40 mm. Úhel dílku stupnice voliče ϕ_{voln} [°] a úhel dílku stupnice nonia ϕ_{non} [°] se vypočte:

$$\phi_{voln} = \frac{360^\circ}{k_{voln}} = \frac{360^\circ}{50} = 7,2^\circ \quad (8)$$

$$\phi_{non} = \frac{(k_{non} - 1) \times \phi_{voln}}{k_{non}} = \frac{(5 - 1) \times 7,2}{5} = 5,76^\circ \quad (9)$$

4.4.3 Výpočet velikosti přestavení průměru na dílek

Výpočet přestavení průměru v hrubém nastavení pomocí stupnice voliče (bez použití nonia):

$$\Delta d_{Hv} = \frac{\Delta D_{Hv}}{k_{voln}} = \frac{2,5}{50} = 0,05 \text{ mm} \quad (10)$$

Výpočet přestavení průměru v hrubém nastavení pomocí stupnice voliče a nonia:

$$\Delta d_{Hvn} = \frac{\Delta D_{Hv}}{k_{voln} \times k_{non}} = \frac{2,5}{50 \times 5} = 0,01 \text{ mm} \quad (11)$$

Výpočet přestavení průměru v jemném nastavení pomocí stupnice voliče (bez použití nonia):

$$\Delta d_{Jv} = \frac{\Delta D_{Jv}}{k_{voln}} = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ mm} \quad (12)$$

Výpočet přestavení průměru v jemném nastavení pomocí stupnice voliče a nonia:

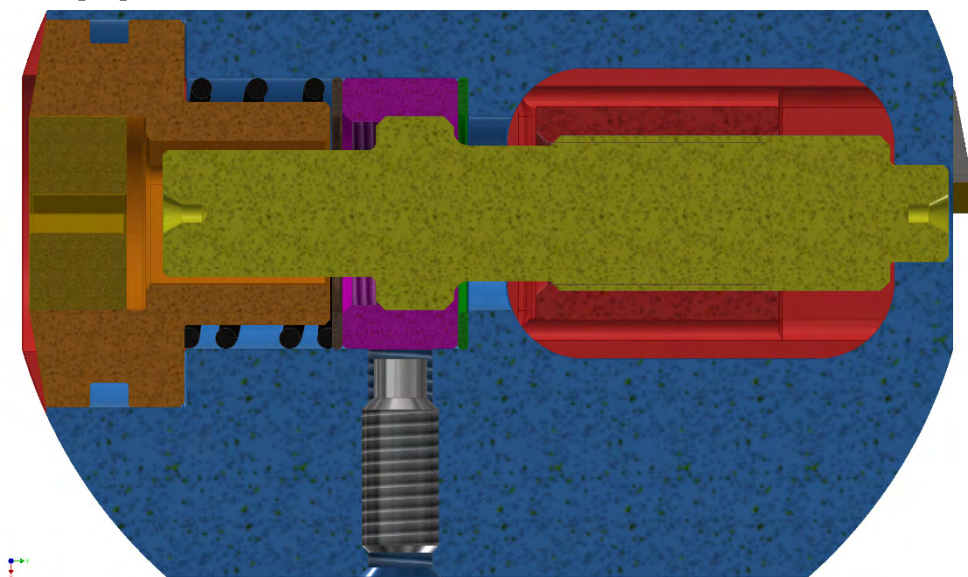
$$\Delta d_{Jvn} = \frac{\Delta D_{Jv}}{k_{voln} \times k_{non}} = \frac{0,5}{50 \times 5} = 0,002 \text{ mm} \quad (13)$$

4.4.4 Aretace volně otočné matice a zajištění volné rotace

Mechanismus aretace volně otočné matice slouží k zajištění dvou funkčních stavů posuvového mechanismu, a to hrubého a jemného nastavení saní.

Hrubé nastavení saní

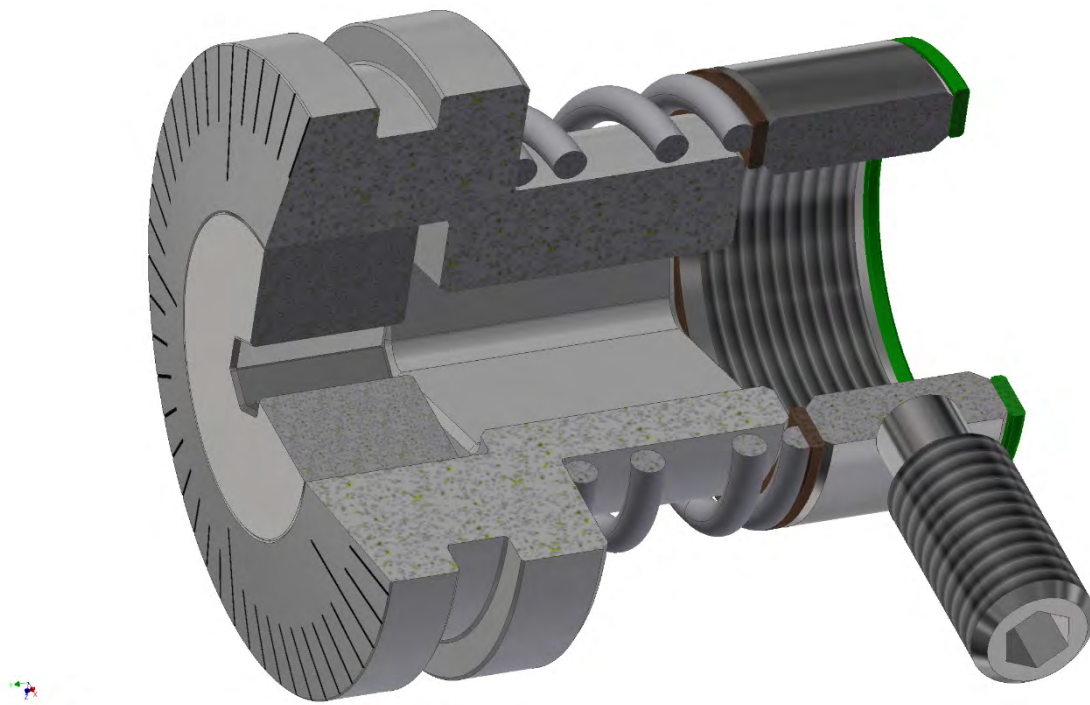
Při hrubém nastavení posuvu saní je mechanismus posuvu v takovém funkčním stavu (obr. 34) že dochází pouze k záběru posuvového šroubu stoupání Y. Matice v těle nástroje se závitem stoupání X se volně otáčí (není aretována stavčícím šroubem s vnitřním šestihranem) společně s posuvovým šroubem a nedochází k posuvu. To je zajištěno pomocí předpínací válcové tlačné pružiny C11000850875M [31], která vyvozuje předpínací sílu $F_{př} = 55 \text{ N}$ mezi posuvovou maticí v těle nástroje se stoupáním X a voličem nastavení. Otáčení tohoto celku je zajištěno pomocí rozdílných součinitelů statického tření dvojic použitých materiálů. Na jedné straně: podložka – matice je styk bronz – ocel kde součinitel statického tření je $f_{sBO} = 0,1$. [32] Na druhé straně: matice – podložka je styk ocel – PTFE (teflon) kde součinitel statického tření je $f_{sOP} = 0,04$ [30].



Obr. 34 Posuvový mechanismus při hrubém nastavení

Jemné nastavení saní

Při jemném nastavení saní je mechanismus posuvu v takovém stavu, že dochází k záběru obou stoupání posuvového šroubu. Je tedy třeba volně otočnou matici (obr. 35) se stoupáním X aretovat – pevně spojit s tělem nástroje. Toho je dosaženo pomocí aretačního stavěcího šroubu v těle nástroje, jenž při dotáhnutí momentem $M_{\text{čerM}}$ [Nm] zajistí matici proti rotaci. Při otáčení voličem dochází k tření bronzové podložky o aretovanou volně otočnou matici zatíženou silou $F_{\text{ppř}}$. Pro výpočet utahovacího momentu stavěcího šroubu aretační matice $M_{\text{čerM}}$ se musí nejprve vypočítat velikost momentu kterým je matice při jemném posuvu zatížena.



Obr. 35 Skupina voliče a volně otočné matice s aretací

Třecí moment od předpnutí pružinou při jemném nastavení M_{TMJ} [Nm] se vypočte:

$$M_{\text{TMJ}} = \frac{F_{\text{ppř}} \times f_{\text{sBO}} \times d_{\text{stř}}}{2} = \frac{55 \times 0,1 \times 25,5}{2} = 70,1 \text{ Nmm} \quad (14)$$

Kde $d_{\text{stř}}$ [mm] je střední průměr podložky na který působí zatížení od pružiny. Dále je třeba vypočítat moment působící na matici od posuvového šroubu při posuvu saní. Moment M_{MX} [Nm] působící na matici od posuvového šroubu se závitem X se vypočte dle:

$$M_{\text{MX}} = \frac{m_{\text{saní}} \times g \times d_{2X}}{2} \times \left[\frac{\pi \times f_X \times d_{2X} - P_1 \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi \times d_{2X} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f_X \times P_1} \right] \quad (15)$$

$$M_{\text{MX}} = \frac{2 \times 9,81 \times 19,35}{2} \times \left[\frac{\pi \times 0,14 \times 19,35 - 1 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}{\pi \times 19,35 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + 0,14 \times 1} \right] = 166,7 \text{ Nmm}$$

Kde $m_{\text{saní}}$ [kg] je hmotnost saní s příslušenstvím, g [m/s²] je tíhové zrychlení, d_{2X} [mm] je střední průměr závitu X (určeno dle [32]), f_X [–] je součinitel tření v závitu X (určeno dle [32]), α [°] je úhel profilu závitu. Při výpočtu byl uvažován nejméně přívēitvý stav, kdy je nástroj orientován tak že posuvový mechanismus je zatížen celou vahou saní a příslušenství.

Výpočet síly na obvodu matice F_{obvM} [N] od třecích momentů:

$$F_{obvM} = \frac{2 \times (M_{TMJ} + M_{MX})}{D_M} = \frac{2 \times (70,1 + 166,7)}{28} = 17 \text{ N} \quad (16)$$

Kde D_M [mm] je velký vnější průměr matice. Výpočet velikosti potřebné síly $F_{\check{cer}M}$ [N]:

$$F_{\check{cer}M} = \frac{F_{obvM} \times K_1}{f_{soo}} = \frac{17 \times 3}{0,1} = 510 \text{ N} \quad (17)$$

Kde K_1 [–] je koeficient bezpečnosti návrhu, f_{soo} [–] je součinitel statického tření ocel – ocel dle [30]. Výpočet utahovacího momentu aretačního šroubu matice $M_{\check{cer}M}$ [Nm]:

$$M_{\check{cer}M} = \frac{F_{\check{cer}M} \times d_{2\check{cer}M}}{2} \times \left[\frac{P_{\check{cer}M} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \times f_{\check{cer}M} \times d_{2\check{cer}M}}{\pi \times d_{2\check{cer}M} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_{\check{cer}M} \times P_{\check{cer}M}} \right] \quad (18)$$

$$M_{\check{cer}M} = \frac{510 \times 7,19}{2} \times \left[\frac{1,25 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + \pi \times 0,14 \times 7,19}{\pi \times 7,19 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) - 0,14 \times 1,25} \right] = 1860 \text{ Nmm} \sim 2 \text{ Nm}$$

Kde $d_{2\check{cer}M}$ [mm] je střední průměr závitu aretačního šroubu, $P_{\check{cer}M}$ [mm] je stoupání závitu aretačního šroubu, α [°] je úhel profilu závitu, $f_{\check{cer}M}$ [–] je součinitel tření závitu šroubu. Minimální utahovací moment aretačního šroubu matice musí být menší než největší dovolený utahovací moment $M_{umax\check{cer}M8}$ [Nm] stavěcího šroubu s vnitřním šestihranem ČSN EN ISO 4028 velikosti M8 délky 20 mm, který je dle ČSN EN ISO 898-5 20 Nm, pak musí platit:

$$M_{\check{cer}M} = 2 \text{ Nm} < M_{umax\check{cer}M8} = 20 \text{ Nm} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (19)$$

4.4.5 Výpočet velikosti nastavovacího momentu

Velikost nastavovacího momentu určuje odpor voliče při nastavování hrubého a jemného posuvu. Moment se z voliče na posuvový šroub přenáší pomocí tvarového prvku. Pro výpočet těchto momentů se nejprve musí vypočítat momenty tření v jednotlivých pohybových závitech a plochách. Výpočet třecího momentu od předpnutí pružinou při hrubém nastavení M_{TMH} [Nm]:

$$M_{TMH} = \frac{F_{Ppř} \times f_{sOP} \times d_{stř}}{2} = \frac{55 \times 0,04 \times 25,5}{2} = 28 \text{ Nmm} \quad (20)$$

Výpočet momentu M_{MY} [Nm] působící na posuvový šroub se závitem Y od saní se vypočte:

$$M_{MY} = \frac{m_{saní} \times g \times d_{2Y}}{2} \times \left[\frac{P_2 \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \times f_Y \times d_{2Y}}{\pi \times d_{2Y} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_Y \times P_2} \right] \quad (21)$$

$$M_{MY} = \frac{2 \times 9,81 \times 15,19}{2} \times \left[\frac{1,25 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + \pi \times 0,14 \times 15,19}{\pi \times 15,19 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) - 0,14 \times 1,25} \right] = 142,5 \text{ Nmm}$$

Kde d_{2Y} [mm] je střední průměr závitu Y (určeno dle [32]), α [°] je úhel profilu závitu, f_Y [–] je součinitel tření v závitu Y (určeno dle [32]). Nastavovací moment při hrubém nastavení M_{NH} [Nm] a nastavovací moment při jemném nastavení M_{NJ} [Nm] se vypočte:

$$M_{NH} = M_{TMH} + M_{MY} = 28 + 142,5 = 170,5 \text{ Nmm} \quad (22)$$

$$M_{NJ} = M_{TMJ} + M_{MX} + M_{MY} = 70,1 + 166,7 + 142,5 = 379,3 \text{ Nmm} \quad (23)$$

4.5 Výpočet řezné síly

Pro zjednodušení výpočtu byl předpokládán úběr požadovaného materiálu z otvoru na jeden průchod. V praxi se vyvrtává nejméně na dva průchody, protože po prvním průchodu je nutné změřit vyrobený otvor a přesně nastavit vyvrtávaný průměr. Hloubka řezu a_p [mm] je:

$$a_p = \frac{D - D_0}{2} = \frac{120 - 118}{2} = 1 \text{ mm} \quad (24)$$

Dále bylo vycházeno z výpočtu řezných sil u soustružení za použití měrné řezné síly. Další řezné parametry byli zvoleny dle doporučených počátečních hodnot VBD, a to řezná rychlost $v_c = 490 \text{ m/min}$ a posuv $f_n = 0,07 \text{ mm/ot}$. Měrná řezná síla $k_{c1} = 1700 \text{ MPa}$ dle materiálu vyvrtávaného otvoru. Parametry řezu voleny dle VBD a informací na webu firmy Sandvik [14]. Řezná síla se vypočte:

$$F_c = S_t \times k_{c1} = a_p \times f_n \times k_{c1} = 1 \times 0,07 \times 1700 = 119 \text{ N} \quad (25)$$

Kde S_t [mm²] je průřez třísky. Další složky řezné síly lze vypočítat z poměru k řezné síle. Pro danou destičku a geometrii nejsou tyto hodnoty k dispozici. Vzhledem k malé řezné síle byly její další složky zanedbány.

4.6 Výpočet silových reakcí na držáku VBD a výpočet jeho šroubů

Sestava držáku VBD (obr. 36) tj. držák VBD společně s VBD a jejím šroubem, je při konstantních řezných otáčkách n_c [ot/min] nebo taktéž konstantní úhlové rychlosti ω [Rad/s] namáhána dostředivým zrychlením. Pomocí D'Alembertova principu lze určit síly působící na jednotlivé součásti. Výpočet otáček z řezné rychlosti:

$$n_c = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{490 \times 1000}{\pi \times 120} = 1300 \text{ ot/min} \quad (26)$$

Výpočet úhlové rychlosti z otáček:

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n_c}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1300}{60} = 136,14 \text{ Rad/s} \quad (27)$$



Obr. 36 Sestava držáku VBD

Výpočet síly působící na sestavu držáku VBD F_{Ddr} [N] pomocí D'Alembertova principu:

$$F_{Ddr} = -m_{dr} \times R_{dr} \times \omega^2 = -0,251 \times 0,0236 \times 136,14^2 = -110 \text{ N} \quad (28)$$

Kde m_{dr} [kg] je hmotnost sestavy držáku VBD a R_{dr} [m] je vzdálenost těžiště sestavy držáku VBD od osy rotace pro maximální vyložení držáku VBD. Tyto hodnoty byly vygenerovány z 3D modelu aplikace Autodesk Inventor. Výpočet velikosti potřebné síly na šroubu F_{sdr} [N]:

$$F_{sdr} = \frac{|F_{Ddr}| \times K_2}{f_{soo} \times n_{sdr}} = \frac{|-110| \times 3}{0,1 \times 3} = 1100 \text{ N} \quad (29)$$

Kde K_2 [–] je koeficient bezpečnosti návrhu, n_{sdr} [–] je počet šroubů držáku VBD. Sestava držáku VBD je přišroubována třemi šrouby M8 délky 16 mm dle ISO 4762. Uťahovací moment šroubů držáku VBD $M_{u\dot{s}dr}$ [Nm] se vypočte:

$$M_{u\dot{s}dr} = \frac{F_{sdr} \times d_{2\dot{s}dr}}{2} \times \left[\frac{P_{sdr} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \times f_{sdr} \times d_{2\dot{s}dr}}{\pi \times d_{2\dot{s}dr} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_{sdr} \times P_{sdr}} \right] + \frac{F_{sdr} \times d_{s\dot{s}dr} \times f_{soo\dot{s}}}{2}$$

$$M_{u\dot{s}dr} = \frac{1100 \times 7,19}{2} \times \left[\frac{1,25 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + \pi \times 0,14 \times 7,19}{\pi \times 7,19 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) - 0,14 \times 1,25} \right] + \frac{1100 \times 10,5 \times 0,15}{2} \quad (30)$$

$$M_{u\dot{s}dr} = 4876 \text{ Nmm} \sim 5 \text{ Nm}$$

Kde $d_{2\dot{s}dr}$ [mm] je střední průměr závitu šroubu držáku VBD, P_{sdr} [mm] je stoupání závitu šroubu držáku VBD, α [°] je úhel profilu závitu, f_{sdr} [–] je součinitel tření závitu šroubu (určeno dle [32]), $d_{s\dot{s}dr}$ [mm] je střední průměr třecí plochy hlavy šroubu, $f_{soo\dot{s}}$ [–] je součinitel tření hlavy šroubu a podložky držáku VBD. Minimální uťahovací moment šroubu držáku VBD musí být menší než největší dovolený uťahovací moment šroubu M_{umaxM8} [Nm] který je 24,5 Nm dle [33] pro velikost M8 a pevnost 8.8, pak musí platit:

$$M_{u\dot{s}dr} = 5 \text{ Nm} < M_{umaxM8} = 24,5 \text{ Nm} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (31)$$

4.7 Výpočet silových reakcí na sestavě saní a výpočet aretačních šroubů

Sestava saní (obr. 37) tj. saně, šrouby držáku VBD, podložka šroubů držáku VBD, držák VBD společně s VBD a jejím šroubkem, je při konstantních rezných otáčkách n_c [ot/min] nebo taktéž konstantní úhlové rychlosti ω [Rad/s] namáhána dostředivým zrychlením. Výpočet síly působící na sestavu saní F_{Dsan} [N] pomocí D'Alembertova principu:

$$F_{Dsan} = -m_{san} \times R_{san} \times \omega^2 = -1,08 \times 0,0154 \times 136,14^2 = -309 \text{ N} \quad (32)$$

Kde m_{san} [kg] je hmotnost sestavy saní a R_{san} [m] je vzdálenost těžiště sestavy saní od osy rotace při maximálním vyložení saní i držáku VBD. Tyto hodnoty byly vygenerovány z 3D modelu aplikace Autodesk Inventor. Výpočet velikosti potřebné síly na šroubu F_{ssan} [N]:

$$F_{ssan} = \frac{|F_{Dsan}| \times K_3}{f_{soo} \times n_{ssan}} = \frac{|-309| \times 2}{0,1 \times 2} = 3090 \text{ N} \quad (33)$$

Kde K_3 [–] je koeficient bezpečnosti návrhu, n_{ssan} [–] je počet šroubů saní. Sestava saní je aretována dvěma stavěcími šrouby M8 délky 16 mm dle ČSN EN ISO 4028.

Utahovací moment aretačního šroubu saní $M_{u\check{s}san}$ [Nm] se vypočte:

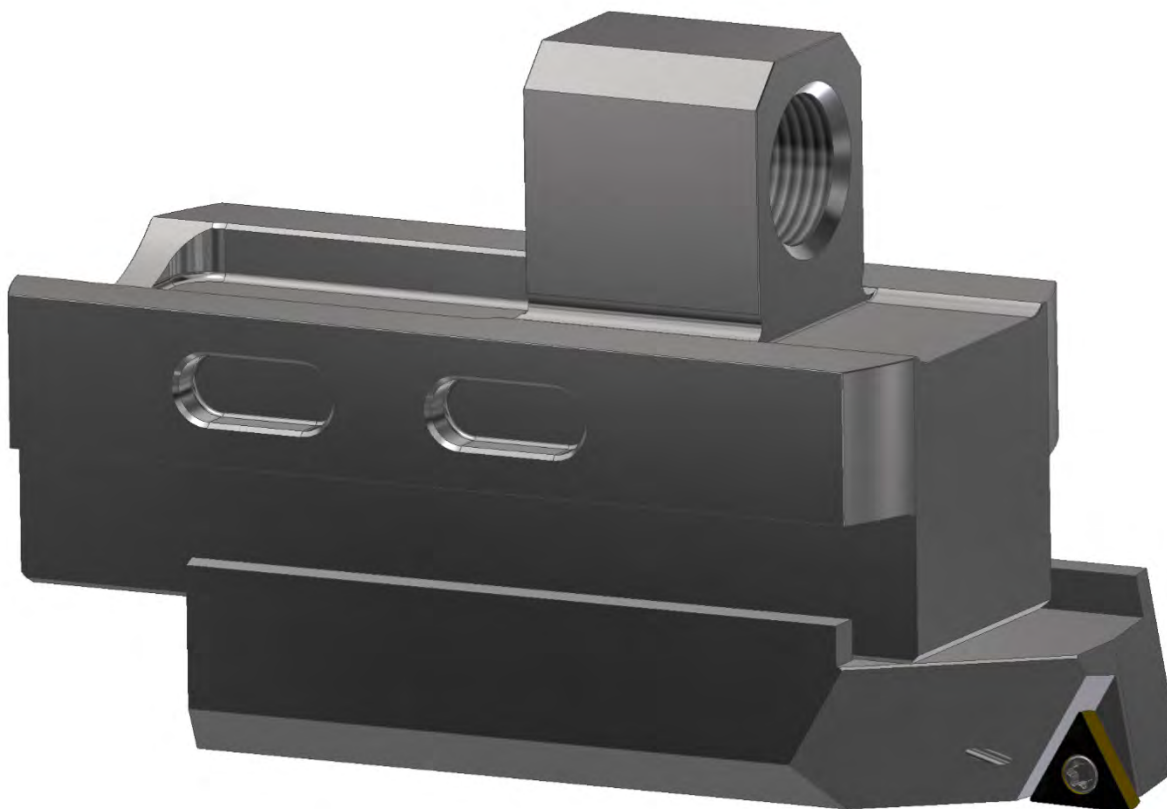
$$M_{u\check{s}san} = \frac{F_{\check{s}san} \times d_{2\check{s}san}}{2} \times \left[\frac{P_{\check{s}san} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \times f_{\check{s}san} \times d_{2\check{s}san}}{\pi \times d_{2\check{s}san} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_{\check{s}san} \times P_{\check{s}san}} \right]$$

$$M_{u\check{s}san} = \frac{3090 \times 7,19}{2} \times \left[\frac{1,25 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + \pi \times 0,14 \times 7,19}{\pi \times 7,19 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) - 0,14 \times 1,25} \right] \quad (34)$$

$$M_{u\check{s}san} = 11\,262\,Nmm \sim 11,3\,Nm$$

Kde $d_{2\check{s}san}$ [mm] je střední průměr závitů šroubů saní, $P_{\check{s}san}$ [mm] je stoupání závitů šroubů saní, $f_{\check{s}san}$ [–] je součinitel tření závitů šroubů (určeno dle [32]). Minimální utahovací moment aretačních šroubů saní musí být menší než největší dovolený utahovací moment $M_{umax\check{c}M8}$ stavěcího šroubu s vnitřním šestihranem ČSN EN ISO 4028 velikosti M8 délky 16 mm, který je dle ČSN EN ISO 898-5 20 Nm, pak musí platit:

$$M_{u\check{s}san} = 11,3\,Nm < M_{umax\check{c}M8} = 20\,Nm \rightarrow VYHOVUJE \quad (35)$$



Obr. 37 Sestava saní

4.8 Volba uložení saní v těle

Saně jsou v těle uloženy s vůlí v radiálním i axiálním směru. Po nastavení vyvrtávaného rozměru posuvovým šroubem se saně zajistí aretačními šrouby, čímž dojde k sevření saní v těle radiálním směrem. Lícovat a tolerovat je tudíž nutné dosedací strany k ose rotace. Vůle v axiálním směru se seřizuje při prvotní montáži broušením styčných ploch příložek. Příložky jsou následně označeny, aby při případné demontáži nedošlo k jejich záměně.

4.9 Výpočet silových reakcí na příložkách saní

Příložky saní (obr. 38) jsou při konstantních řezných otáčkách n_c [ot/min] nebo taktěž konstantní úhlové rychlosti ω [Rad/s] namáhána dostředivým zrychlením. Výpočet síly působící na příložku F_{Dpr} [N] pomocí D'Alembertova principu:

$$F_{Dpr} = -m_{pr} \times R_{pr} \times \omega^2 = -0,131 \times 0,0247 \times 136,14^2 = -60 \text{ N} \quad (36)$$

Kde m_{pr} [kg] je hmotnost příložky a R_{pr} [m] je vzdálenost těžiště příložky od osy rotace. Tyto hodnoty byly vygenerovány z 3D modelu aplikace Autodesk Inventor. Výpočet velikosti potřebné síly na šroubech $F_{špr}$ [N], která se skládá z normálové síly zajišťující přes statický součinitel tření f_{s00} nepohyblivost příložek ve směru D'Alembertovy síly od rotace a tíhových sil jednotlivých součástí – uvažováno vertikální upnutí nástroje do stroje:

$$F_{špr} = \left[\frac{|F_{Dpr}|}{f_{s00}} + \left(m_{pr} + \frac{m_{saní}}{2} \right) \times g \right] \times \frac{K_4}{n_{špr}} \quad (37)$$

$$F_{špr} = \left[\frac{|-60|}{0,1} + \left(0,131 + \frac{2}{2} \right) \times 9,81 \right] \times \frac{3}{3} = 611 \text{ N}$$

Kde K_4 [–] je koeficient bezpečnosti návrhu, $n_{špr}$ [–] je počet šroubů příložky saní. Příložky saní jsou přišroubovány k tělu třemi šrouby ISO 4762 M6 délky 12 mm pevnosti 8.8. Minimální utahovací moment šroubů příložek saní $M_{ušpr}$ [Nm] se vypočte:

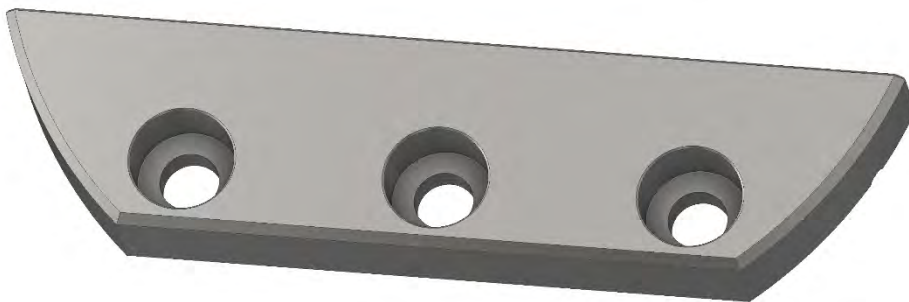
$$M_{ušpr} = \frac{F_{špr} \times d_{2špr}}{2} \times \left[\frac{P_{špr} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \times f_{špr} \times d_{2špr}}{\pi \times d_{2špr} \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_{špr} \times P_{špr}} \right] + \frac{F_{špr} \times d_{sšpr} \times f_{s00š}}{2} \quad (38)$$

$$M_{ušpr} = \frac{611 \times 5,35}{2} \times \left[\frac{1 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + \pi \times 0,14 \times 5,35}{\pi \times 5,35 \times \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) - 0,14 \times 1} \right] + \frac{611 \times 8 \times 0,15}{2}$$

$$M_{ušpr} = 2037 \text{ Nmm} \sim 2,1 \text{ Nm}$$

Kde $d_{2špr}$ [mm] je střední průměr závitu šroubu příložky saní, $P_{špr}$ [mm] je stoupání závitu šroubu příložky saní, α [°] je úhel profilu závitu, $f_{špr}$ [–] je součinitel tření závitu šroubu (určeno dle [32]), $d_{sšpr}$ [mm] je střední průměr třecí plochy hlavy šroubu, $f_{s00š}$ [–] je součinitel tření hlavy šroubu a příložky. Minimální utahovací moment šroubů příložek saní musí být menší než největší dovolený utahovací moment šroubu M_{umaxM6} [Nm] který je 9,7 Nm dle [33] pro velikost M6 a pevnost 8.8, pak musí platit:

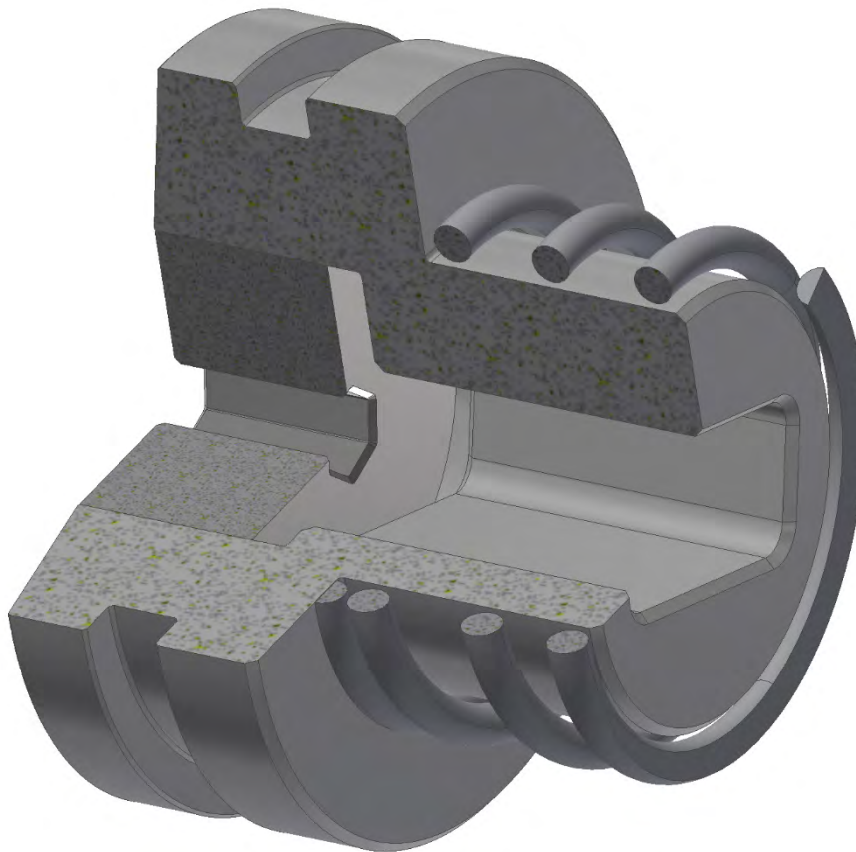
$$M_{ušpr} = 2,1 \text{ Nm} < M_{umaxM6} = 9,7 \text{ Nm} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (39)$$



Obr. 38 Příložka saní

4.10 Výpočet silových reakcí na nastavovacím voliči posuvu

Sestava voliče (obr. 39) tj. volič, vnitřní šestihran a předpínací pružina voliče, je při konstantních řezných otáčkách n_c [ot/min] nebo taktěž konstantní úhlové rychlosti ω [Rad/s] namáhána dostředivým zrychlením.



Obr. 39 Sestava voliče

Výpočet síly působící na sestavu voliče F_{Dvol} [N] pomocí D'Alembertova principu:

$$F_{Dvol} = -m_{vol} \times R_{vol} \times \omega^2 = -0,167 \times 0,036 \times 136,14^2 = -111,5 \text{ N} \quad (40)$$

Kde m_{vol} [kg] je hmotnost sestavy voliče a R_{vol} [mm] je vzdálenost těžiště sestavy voliče od osy rotace. Tyto hodnoty byly vygenerovány z 3D modelu aplikace Autodesk Inventor. Výpočet velikosti působící síly na čep F_{dvol} [N]:

$$F_{dvol} = |F_{Dvol}| + F_{ppř} = 111,5 + 55 = 166,5 \text{ N} \quad (41)$$

Sestava voliče je zajištěna stavěcím šroubem M5 délky 8 mm dle ČSN EN ISO 4028. Dřík stavěcího šroubu namáhán smykem. Tečné napětí na dříku τ_d [MPa] se vypočte:

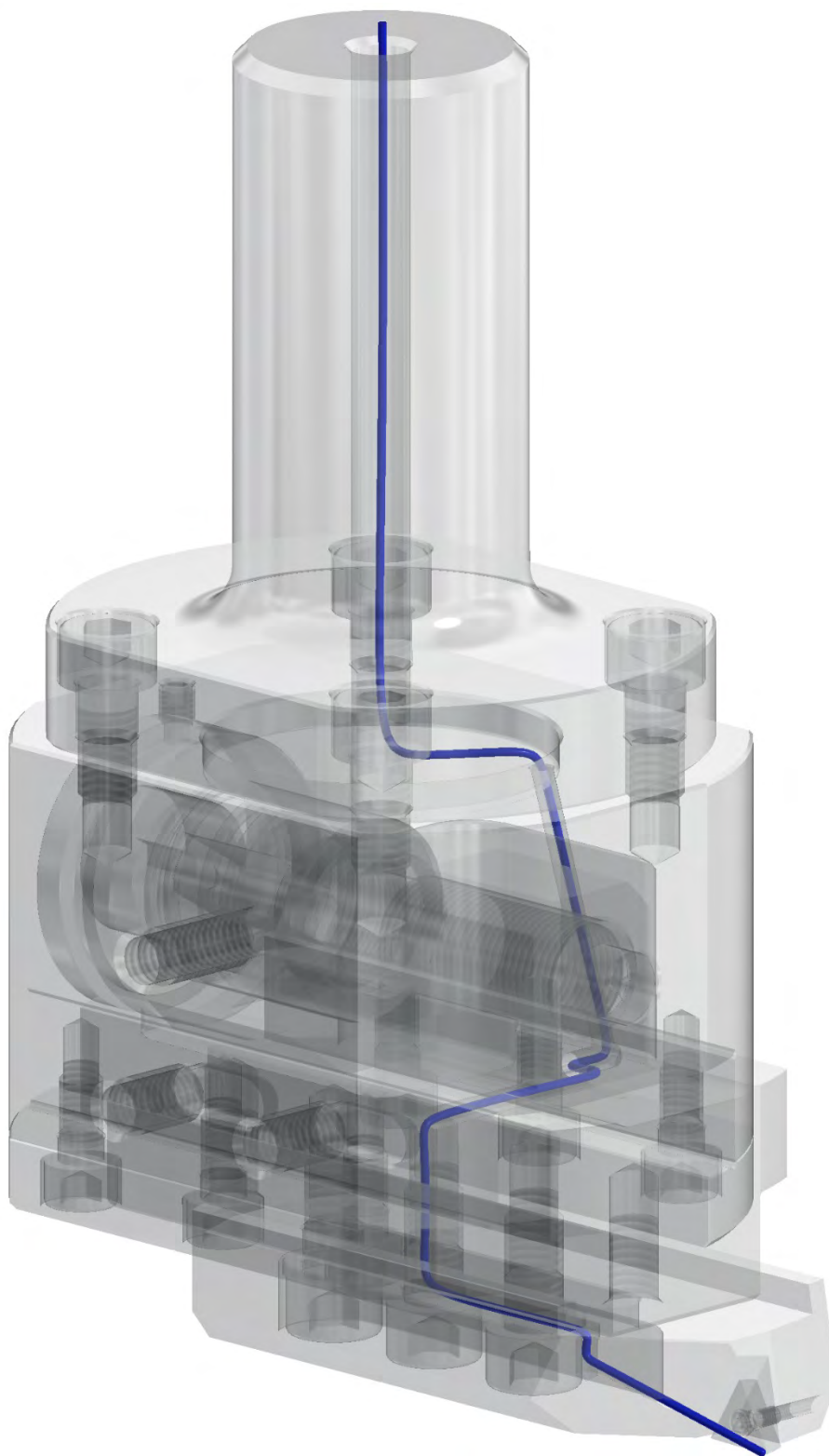
$$\tau_d = \frac{F_{dvol} \times K_5}{S_d} = \frac{4 \times F_{dvol} \times K_5}{\pi \times d_d^2} = \frac{4 \times 166,5 \times 2}{\pi \times 3,5^2} = 34,6 \text{ MPa} \quad (42)$$

Kde K_5 [–] je koeficient bezpečnosti návrhu, S_d [mm²] je průřez dříku stavěcího šroubu, d_d [mm] je průměr dříku stavěcího šroubu. Tečné napětí na dříku musí být menší než dovolené tečné napětí $\tau_{dov} = 70 \text{ MPa}$ dle programu MITCalc, pak musí platit:

$$\tau_d = 34,6 \text{ MPa} < \tau_{dov} = 70 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (43)$$

4.11 Přívod řezné kapaliny

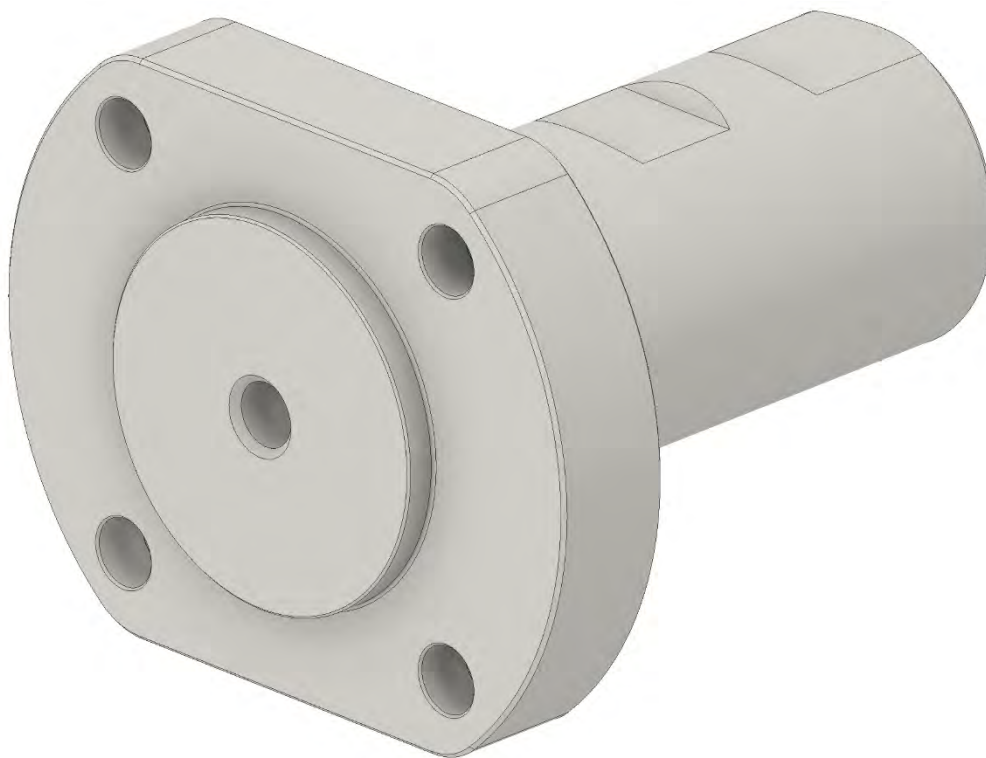
Přívod řezné kapaliny skrz nástroj až k VBD (obr. 40) je veden skrz stopku, tělo, saně a držák VBD. Předpokládán obráběcí stroj vybavený osovým chladicím systémem s tlakem 2 MPa a filtrací. Všechny stykové plochy součástí, kde dochází k přechodu otvorů, jimiž protéká kapalina jsou broušeny, dosedají na sebe a při vyvrtávání jsou k sobě přitlačovány pevnostními nebo stavěcími šrouby, těsnění spojů je považováno za dostatečné.



Obr. 40 Přívod řezné kapaliny skrz nástroj

4.12 Rozhraní připojení ke stroji

Připojení vyvrtávacího nástroje ke stroji je vyřešeno skrz upínací rozhraní Weldon dle DIN 1835 B průměru 40 mm. Upínací stopka (obr. 41) je opatřena přírubou přes kterou je připevněna k tělu nástroje pomocí čtyř šroubů M8 délky 16 mm. Zajištění polohy – vystředění je zajištěno pomocí přesně vyrobeného kruhového osazení. Ve středu upínací stopky je vyvrtán otvor pro přívod řezné kapaliny.



Obr. 41 Upínací stopka s přírubou

5 NÁVOD K OBSLUZE NAVRHNUTÉHO NÁSTROJE

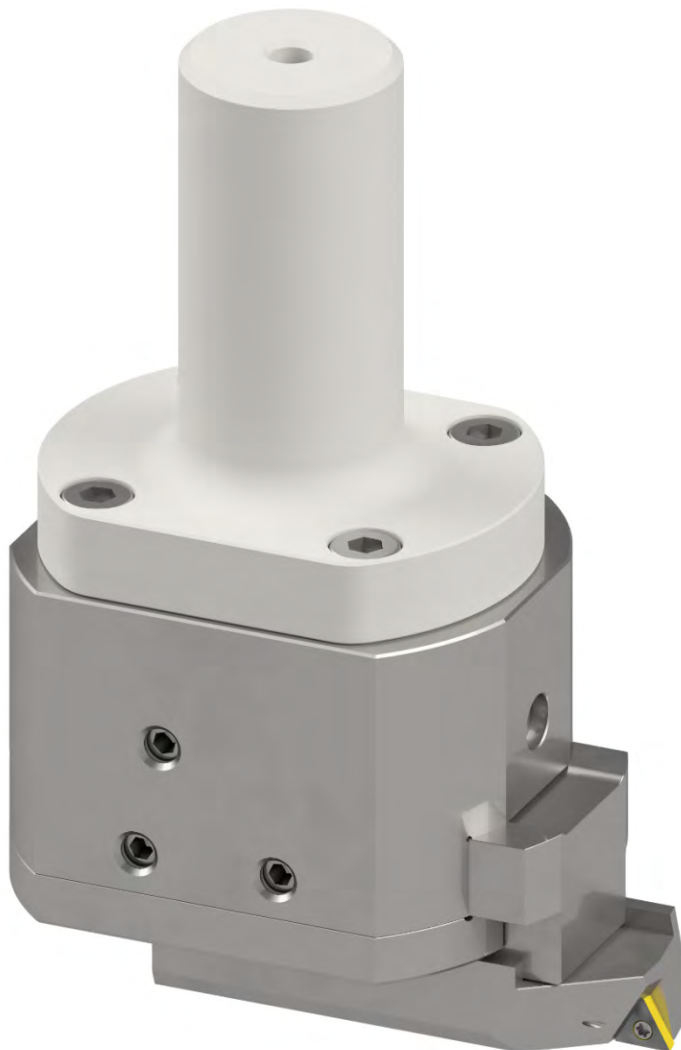
5.1 Bezpečnostní pokyny

Při práci na stroji vždy dodržujte normy a zákony platné ve Vaší zemi. Před použitím nástroje vždy pohledem důkladně zkontrolujte stav nástroje. Dále zkontrolujte upnutí nástroje ve stroji. Pozornost věnujte stavu VBD, její stav má rozhodující vliv na kvalitu vyráběného otvoru. Vždy před roztočením nástroje zkontrolujte dotažení příslušných šroubů na předepsaný moment. Maximální otáčky nástroje závisí na používaném příslušenství. Pro navrhnutý držák VBD to je $n_c = 1300 \text{ ot/min}$.

Nikdy nepřekračujte maximální otáčky nástroje!

5.2 Možnosti použití

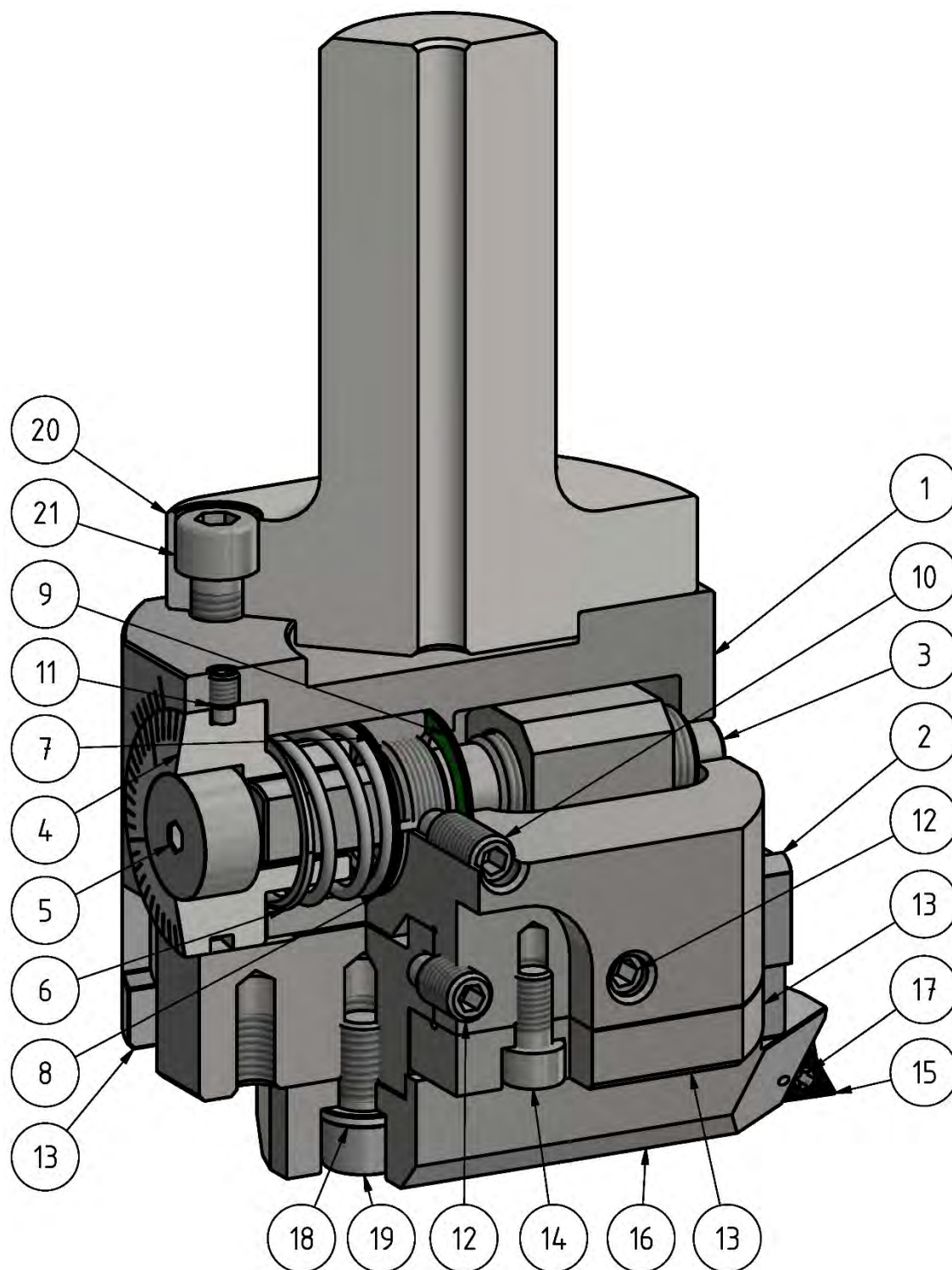
Nástroj (obr. 42) je určen k vyvrtávání válcových otvorů a obrábění vnějších válcových ploch v závislosti na použitém příslušenství. Součástí této práce je pouze držák VBD umožňující obrábění děr v rozsahu průměrů 101–150 mm, hloubka vyvrtávání v tomto rozsahu není omezena nástrojem ale vyložením nástrojového držáku nebo vřetene stroje.



Obr. 42 Vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností

5.3 Popis nástroje

Vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností (obr. 43) je složena z: 1 – těla, 2 – saní, 3 – posuvového šroubu, 4 – voliče, 5 – vnitřního šestihranu voliče, 6 – pružiny, 7 – bronzové podložky, 8 – volně otočné matice, 9 – teflonové podložky, 10 – aretačního šroubu matice, 11 – stavěcího šroubu voliče, 12 – stavěcích šroubů saní, 13 – příložek, 14 – šroubů příložek, 15 – VBD, 16 – držáku VBD, 17 – šroubu VBD, 18 – podložky šroubů držáku VBD, 19 – šroubů držáku VBD, 20 – stopky, 21 – šroubů stopky.



Obr. 43 Řez konstrukcí vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností

5.4 Postup práce při vyvrtávání

Postup nastavení vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností pro vyvrtávání otvoru 120 mm s tolerancí H7 je následující. Níže uvedená čísla v závorkách se vztahují k pozicím na obr. 43.

Jako první povolíme oba stavěcí šrouby saní (12). Dále zjistíme polohu posuvového šroubu (3) vůči volně otočné matici (8) a to tak že změříme hloubkoměrem zasunutí posuvového šroubu do těla nástroje (1) a to z boku těla nástroje. Pokud je zasunutí posuvového šroubu více než 0,5 mm dotáhneme aretační šroub matice (10) momentem $M_{\text{cerM}} = 2 \text{ Nm}$ a nastavovacím voličem (4) skrz vnitřní šestihran (5) pomocí imbusového klíče otáčíme proti směru hodinových ručiček, dokud nedojde k požadovanému zasunutí posuvového šroubu. Pak povolíme aretační šroub matice (10) a pokračujeme v otáčení nastavovacím voličem, dokud saně (2) nejsou v zákrytu s tělem nástroje (1). Tím je nástroj uveden do výchozí pozice.

Dle druhu obráběné plochy zvolíme příslušenství. Pro otvor průměru 120 mm volíme držák VBD (16). Ten připevníme k saním nástroje (2) za použití podložky šroubů držáku VBD (18) a šroubů držáku VBD (19) a to tak že pomocí drážky v držáku VBD (16) přednastavíme vyvrtávaný průměr na cca 117 mm. Šrouby (19) utahujeme momentem $M_{\text{ušdr}} = 5 \text{ Nm}$.

Zkontrolujeme, jestli jsou povoleny stavěcí šrouby saní (12) a aretační šroub matice (10). Nyní máme aktivován hrubý posuv saní. Otáčením nastavovacího voliče (4) po směru hodinových ručiček nastavíme vyvrtávaný průměr zhruba na 119,5 mm, a to tak aby se některá z rysek na nastavovacím voliči (4) kryla s hlavní ryskou nonia na těle nástroje (1).

Utáhneme stavěcí šrouby saní (12) momentem $M_{\text{ušsan}} = 12 \text{ Nm}$ a aretační šroub matice (10) momentem $M_{\text{cerM}} = 2 \text{ Nm}$. Provedeme vyvrtání otvoru. Vyvrtaný otvor přesně změříme. Od požadovaného rozměru (na střed tolerance) 120,018 mm odečteme změřený rozměr (například) 119,634 mm vyvrtaného otvoru. Rozdíl vyvrtaného průměru a požadovaného průměru otvoru je 0,384 mm. Jemný posuv saní má tři funkční otáčky. Rozsah saní je 1,5 mm.

Pokud je rozdíl těchto průměrů větší, než rozsah saní musíme povolit stavěcí šrouby saní (12) a aretační šroub matice (10), dále otáčením nastavovacího voliče (4) po směru hodinových ručiček zvětšíme vyvrtávaný průměr tak aby následně vyvrtaný otvor nebyl menší než požadovaný otvor o 1,5 mm, a to tak aby se některá z rysek na nastavovacím voliči (4) kryla s hlavní ryskou nonia na těle nástroje (1). Dotáhneme stavěcí šrouby saní (12) a aretační šroub matice (10). Provedeme vyvrtání otvoru. Vyvrtaný otvor přesně změříme. Spočteme rozdíl požadovaného a vyvrtaného otvoru.

Pokud je rozdíl těchto průměrů menší než 1,5 mm můžeme přistoupit k přesnému nastavení. Rozdíl průměrů vydělíme $\Delta d_{jv} = 0,01 \text{ mm}$ (dle kap. 4.4.3) a číslo rozdělíme na součet celého a desetinného čísla menší než jedna. První číslo je počet dílků základní stupnice voliče (4) o které budeme voličem otáčet. Druhé číslo po vynásobení $k_{\text{non}} = 5$ (dle kap. 4.4.2) je počet dílků nonia na těle nástroje (1) proti kterému budeme nastavovat rysku voliče (4). Pro náš případ vzniknou čísla 38 a 2. Nastavení provedeme tak že povolíme stavěcí šrouby saní (12). Jemným pootočením nastavovacího voliče (4) vymezíme vůle posuvového šroubu (3), to je důležité! Nastavovacím voličem (4) otáčíme ve směru hodinových ručiček o 38 dílků a pak pootočíme voličem tak aby se druhá ryska nonia na těle (1) kryla s nejbližší ryskou voliče (4) dle směru otáčení. Dotáhneme stavěcí šrouby saní (12) a provedeme vyvrtání otvoru.

Upozornění: při nastavování vždy otáčejte voličem jedním směrem. Pokud je nutné se s voličem vrátit proti směru otáčení nastavení voliče, učíte tak otočením nejméně o třetinu otáčky zpět aby došlo k vymezení vůlí posuvového šroubu a pak pokračujte v nastavení.

6 ZÁVĚR

Výsledkem bakalářské práce je v úvodní části rešerše v oblasti vyvrtávání, dále rešerše v oblasti vyvrtávacích nástrojů a jejich konstrukce a funkce.

Na základě provedené rešerše bylo zvoleno konstrukční řešení vhodné pro zadané parametry vyvrtávaného otvoru, a to vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností. Dále byly provedeny konstrukční výpočty nutné pro návrh vyvrtávací hlavy, a to zejména návrh posuvového mechanismu saní vyvrtávací hlavy a pevnostní výpočty částí namáhaných od dostředivého zrychlení při rotaci vyvrtávací hlavy. Koeficienty bezpečnosti byly voleny kolem hodnoty tři vzhledem k tomu, že výpočty se zakládají na tabulkových hodnotách statických součinitelů tření, které mohou být v reálných podmínkách výrazně nižší. Byla spočítána i řezná síla na břítu VBD ale pro svou malou velikost nebyla dále uvažována.

V další části práce bylo konstrukčně vyřešeno připojení k obráběcímu stroji a uchycení s výměnou držáků VBD čímž se výrazně zvýšila univerzálnost nástroje. Dále byl skrz nástroj zapracován přívod řezné kapaliny, od přívodu z vřetene stroje vyústující přímo na VBD. To umožňuje zajistit stále kvalitní řezné prostředí pro dosažení požadovaného povrchu a rozměru spolu s dlouhou životností VBD.

Následující část práce popisuje možnosti navrhnuté vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností. Dále je zobrazen řez modelem, kde lze vidět všechny díly z kterých je nástroj složen. V práci je také uveden postup práce při výrobě přesných otvorů tímto nástrojem.

Poslední částí práce bylo vytvoření výkresové dokumentace – výkres sestavení přesné vyvrtávací hlavy a vybraných dílů v programu Autodesk Inventor Professional z 3D modelu jenž byl vytvářen průběžně s volbou a výpočty řešení vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností.

Během vypracování bakalářské práce bylo dbáno na splnění cílů zadání. Při návrhu přesné vyvrtávací hlavy jsem se snažil navrhnout jednoduchou konstrukci s velkými možnostmi použití a možným bohatým příslušenstvím. Dále byl kladen důraz na funkčnost celku a jednoduchou výrobu jednotlivých součástí přesné vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. 2004 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf
- [2] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Vyd. 1. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.
- [3] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [4] NĚMEC, Dobroslav, Jan ODEHNAL a Jaroslav HNILICA. *Strojírenská technologie 3: Strojní obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. Řada strojírenské literatury.
- [5] RETOS VARNSDORF. In: *RETOS VARNSDORF s.r.o.* [online]. [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <http://www.retos.cz/w100ar>
- [6] TDZ Power SE. In: *TDZ Power SE* [online]. [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <http://www.tdz-power.com/cz/produkty/htb-130-cnc>
- [7] Lucas Precision: Fermat WRF 130/150/160 CNC. In: [Http://lucasprecision.com/](http://lucasprecision.com/): *WRF 130/150/160 CNC* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://lucasprecision.com/floor-type/wrf-130150160-cnc-floor-type-horizontal-boring-machine/>
- [8] LATHES.CO.UK: SIP Jig Bore. In: *LATHES.CO.UK* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <http://www.lathes.co.uk/sip002/page4.html>
- [9] Nové technologie při výrobě nosných dílů obráběcích strojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, **2002**(4) [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-technologie-pri-vyrobe-nosnych-dilu-obrabecich-stroju.html>
- [10] Hermle High-Performance line. In: *Bergsli metallmaskiner* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.bergslimetallmaskiner.no/produkter/maskiner/sponfraskillende/cnc-fresemaskiner/vertikale-fresemaskiner/hermle-c-52-c-52-u-mt/>
- [11] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část*. [Http://ust.fme.vutbr.cz](http://ust.fme.vutbr.cz) [online]. 2003 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [12] *NAREX MTE* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.narexmte.cz>
- [13] Doporučené řezné podmínky pro vyvrtávání. [Http://www.tumlikovo.cz/](http://www.tumlikovo.cz/) [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/rezne-podminky-nastroju/>
- [14] *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com>

- [15] *Pilana MCT* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://www.pilanamct.cz>
- [16] *D'ANDREA* [online]. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <http://www.dandrea.com>
- [17] *Johne & Co* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.johne-co.de>
- [18] *RIGIBORE* [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.rigibore.com>
- [19] Sigma Toolings: Fine Boring Units. *Www.sigmatoolings.com* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://sigmatoolings.com/specification/fine-boring-units/>
- [20] Vyvrtávací tyče s tlumením zvyšují kvalitu obrábění. *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství*. MM publishing, 2014, **2014**(5), 30–31. ISSN 1212-2572.
- [21] Dvouhmotový tlumič kmitů vyvrtávacích tyčí: Patent číslo 229530. *Databáza patentov Slovenska* [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://skpatents.com/5-229530-dvouhmotovy-tlumič-kmitu-vyvrtavacich-tyci.html>
- [22] *Markagro* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.markagro.net/docs/shop/original/2-gwza-01.jpg>
- [23] *Direct industry: ANTI-VIBRATION BORING BAR* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/big-kaiser-precision-tooling-inc/product-19356-1666187.html>
- [24] *Walter Precision: Přesné vyvrtávání* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard_products/holemaking/overview/fine_boring/b3230_analog/Pages/default.aspx
- [25] *Wohlhaupter* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: http://www.wohlhaupter.de/produkte/modulares_ausdrehsystem_multibore/ausdrehwerkzeuge_fuer_die_fertigbearbeitung-1/feindrehwerkzeug_variobore_oe_04_152_mm/536002/
- [26] *PINZBOHR* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: http://www.pinzbohr.com/en/files/PINZBOHR_Main_catalog-online.pdf
- [27] *RBH tools* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://www.rbh-tools.cn/ProShow.asp?3966.html>
- [28] *URMA* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.urma.ch/de/Ausdrehen/IntraMax.php>
- [29] *KOMET GROUP* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://classic.kometgroup.com/navigation-top/presse/pressroom/produkte/mechatronic/ventilsitzbearbeitung.html>
- [30] *E-konstrukter* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/>

- [31] *Sodemann: Tlačné pružiny - Strunový drát* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.sodemann-pruziny.cz/online-obchod/tlacne-pruziny/strunovy-drat-rada-a-a-b>
- [32] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS, Miloš VLK, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [33] *Utahovací momenty šroubů: BRIOL spojovací materiály* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/technicke-informace/utahovací-momenty-sroubu>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk

3D	Trojrozměrný prostor
CBN	Kubický nitrid boru
CNC	Computer Numeric Control – počítačové číslicové řízení
HRC	Tvrdost podle Rockwella
IT	Stupeň přesnosti u tolerování rozměrů
NC	Numeric Control – číslicové řízení
PCD	Polykrystalický diamant
SK	Slinutý karbid
VBD	Výměnná břitová destička
VHU	Vyvrtávací hlava univerzální

8.2 Seznam symbolů

$\varnothing D_{vol}$	[mm]	Průměr nastavovacího voliče
$\varnothing D_{voln}$	[mm]	Průměr nastavovacího voliče pro použití s noniem
a_p	[mm]	Hloubka řezu
D	[mm]	Průměr vyvrtávaného otvoru
D_0	[mm]	Průměr předvrtaného otvoru
$d_{2\check{e}erM}$	[mm]	Střední průměr závitu stavěcího šroubu
$d_{2\check{s}dr}$	[mm]	Střední průměr závitu šroubu držáku VBD
$d_{2\check{s}pr}$	[mm]	Střední průměr závitu šroubů přílozek
$d_{2\check{s}san}$	[mm]	Střední průměr závitu stavěcích šroubů saní
d_{2X}	[mm]	Střední průměr posuvového závitu X
d_{2Y}	[mm]	Střední průměr posuvového závitu Y
d_d	[mm]	Průměr dřívku stavěcího šroubu voliče
D_M	[mm]	Vnější průměr volně otočné matice
$d_{s\check{s}dr}$	[mm]	Střední průměr třecí plochy hlavy šroubu držáku VBD
$d_{s\check{s}pr}$	[mm]	Střední průměr třecí plochy hlavy šroubu příložky
$d_{stř}$	[mm]	Střední průměr podložky, na který působí zatížení od pružiny
F_c	[N]	Řezná síla
$F_{\check{e}erM}$	[N]	Axiální síla stavěcího šroubu na volně otočnou matici
$f_{\check{e}erM}$	[–]	Součinitel tření v závitu stavěcího šroubu
F_{Ddr}	[N]	D'Alembertova síla působící na sestavu držáku VBD

F_{Dpr}	[N]	D'Alembertova síla působící na příložku
F_{Dsan}	[N]	D'Alembertova síla působící na sestavu saní
F_{Dvol}	[N]	D'Alembertova síla působící na sestavu voliče
F_{dvol}	[N]	Síla na dřík stavěcího šroubu voliče
f_n	[mm/ot.]	Rychlost posuvu nože na otáčku
F_{obvM}	[N]	Síla na obvodu matice od třecích momentů
$F_{Ppř}$	[N]	Síla předpětí pružiny
f_{sBO}	[-]	Statický součinitel tření bronz – ocel
f_{sOO}	[-]	Statický součinitel tření ocel – ocel
$f_{sOOš}$	[-]	Součinitel tření hlavy šroubu a podložky držáku VBD
f_{sOP}	[-]	Statický součinitel tření ocel – teflon
$F_{šdr}$	[N]	Potřebná axiální síla šroubu
$f_{šdr}$	[-]	Součinitel tření v závitu šroubu držáku VBD
$F_{špr}$	[N]	Potřebná axiální síla šroubu
$f_{špr}$	[-]	Součinitel tření v závitu šroubů příložek
$F_{šsan}$	[N]	Potřebná axiální síla na stavěcí šroub
$f_{šsan}$	[-]	Součinitel tření v závitu stavěcích šroubů saní
f_X	[-]	Součinitel tření v posuvovém závitu X
f_Y	[-]	Součinitel tření v posuvovém závitu Y
g	[m/s ²]	Tíhové zrychlení
H	[mm]	Hloubka vyvrtávaného otvoru
K_1	[-]	Koeficient bezpečnosti návrhu stavěcího šroubu
K_2	[-]	Koeficient bezpečnosti návrhu šroubů držáku VBD
K_3	[-]	Koeficient bezpečnosti návrhu stavěcích šroubů saní
K_4	[-]	Koeficient bezpečnosti návrhu šroubů příložek
K_5	[-]	Koeficient bezpečnosti návrhu dříku stavěcího šroubu voliče
k_{c1}	[MPa]	Měrná řezná síla
k_{Jm}	[-]	Počet jemných kroků na otáčku
k_{non}	[-]	Počet dílků nonia
k_{voln}	[-]	Počet dílků voliče pro použití s noniem
$M_{čerM}$	[Nm]	Minimální utahovací moment stavěcího šroubu aretační matice
m_{dr}	[kg]	Hmotnost sestavy držáku VBD
M_{MX}	[Nm]	Třecí moment od posuvového závitu X
M_{MY}	[Nm]	Třecí moment od posuvového závitu Y
M_{NH}	[Nm]	Nastavovací moment při hrubém nastavení
M_{NJ}	[Nm]	Nastavovací moment při jemném nastavení
m_{pr}	[kg]	Hmotnost příložky
m_{san}	[kg]	Hmotnost sestavy saní
$m_{saní}$	[kg]	Hmotnost saní s příslušenstvím

M_{TMH}	[Nm]	Třecí moment od předpnutí pružinou při hrubém nastavení
M_{TMJ}	[Nm]	Třecí moment od předpnutí pružinou při jemném nastavení
M_{umaxM8}	[Nm]	Největší dovolený utahovací moment stavěcího šroubu M8
M_{umaxM6}	[Nm]	Největší dovolený utahovací moment šroubu M6
M_{umaxM8}	[Nm]	Největší dovolený utahovací moment šroubu M8
$M_{u\dot{s}dr}$	[Nm]	Utahovací moment šroubů držáku VBD
$M_{u\dot{s}pr}$	[Nm]	Utahovací moment šroubů přílozek
$M_{u\dot{s}san}$	[Nm]	Utahovací moment stavěcích šroubů saní
m_{vol}	[kg]	Hmotnost sestavy voliče
n_c	[ot./min]	Řezné otáčky nástroje
$n_{\dot{s}dr}$	[-]	Počet šroubů držáku VBD
$n_{\dot{s}pr}$	[-]	Počet šroubů příložky
$n_{\dot{s}san}$	[-]	Počet stavěcích šroubů saní
O_{vol}	[mm]	Obvod nastavovacího voliče
O_{voln}	[mm]	Obvod nastavovacího voliče pro použití s noniem
P_1	[mm]	Stoupání závitu posuvového šroubu
P_2	[mm]	Stoupání závitu posuvového šroubu
$P_{\dot{c}erM}$	[mm]	Stoupání závitu stavěcího šroubu
$P_{\dot{s}dr}$	[mm]	Stoupání závitu šroubu držáku VBD
$P_{\dot{s}pr}$	[mm]	Stoupání závitu šroubů přílozek
$P_{\dot{s}san}$	[mm]	Stoupání závitu stavěcích šroubů saní
R_a	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka drsnosti povrchu
R_{dr}	[mm]	Vzdálenost těžiště sestavy držáku VBD od osy rotace
R_{pr}	[mm]	Vzdálenost těžiště příložky od osy rotace
R_{san}	[mm]	Vzdálenost těžiště sestavy saní od osy rotace
R_{vol}	[mm]	Vzdálenost těžiště sestavy voliče od osy rotace
S_d	[mm ²]	Průřez díku stavěcího šroubu voliče
S_t	[mm ²]	Průřez třísky
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
v_{dil}	[mm]	Velikost dílku stupnice
v_{diln}	[mm]	Velikost dílku stupnice pro použití s noniem
v_f	[mm/min]	Rychlost axiálního posuvu (u vyvrtávání rychlost průniku)
v_r	[mm/min]	Rychlost radiálního posuvu
α	[°]	Úhel profilu závitu
ΔD_{Hv}	[mm]	Rozdíl vyvrtávaného průměru na otáčku posuvového šroubu při hrubém nastavení
Δd_{Hv}	[mm]	Přestavení průměru na dílek stupnice voliče při hrubém režimu
Δd_{Hvn}	[mm]	Přestavení průměru na dílek stupnice nonia při hrubém režimu

ΔD_{Jv}	[mm]	Rozdíl vyvrtávaného průměru na otáčku posuvového šroubu při jemném nastavení
Δd_{Jv}	[mm]	Přestavení průměru na dílek stupnice voliče při jemném režimu
Δd_{Jvn}	[mm]	Nejmenší krok posuvu na průměru
Δd_{Jvn}	[mm]	Přestavení průměru na dílek stupnice nonia při jemném režimu
ΔP	[mm]	Rozdíl stoupání závitů posuvového šroubu
τ_d	[MPa]	Tečné napětí dřívku stavěcího šroubu voliče
τ_{dov}	[MPa]	Dovolené tečné napětí dřívku stavěcího šroubu voliče
φ_{non}	[°]	Úhel dílku stupnice nonia
φ_{vol}	[°]	Úhel dílku stupnice voliče
ω	[rad/s]	Úhlová řezná rychlost

8.3 Seznam obrázků

Obr. 1	Kinematika vyvrtávání [1].....	17
Obr. 2	Stolová horizontální vyvrtávačka TOS W100A (generální oprava RETOS) [5]	18
Obr. 3	Křížová horizontální vyvrtávačka TDZ POWER HTB 130 CNC [6].....	19
Obr. 4	Desková vyvrtávačka Fermat WRF 150 CNC [7].....	19
Obr. 5	Švýcarská dvoustojanová souřadnicová vyvrtávačka SIP Hydroptic 8P [8].....	20
Obr. 6	Obráběcí centrum Hermle C 52 UMT [10]	21
Obr. 7	Chyba vyosení a oprava vyvrtávacím nožem [12]	22
Obr. 8	Oprava polohy otvoru [12]	23
Obr. 9	Vyvažovací kroužek D'ANDREA BLC 80.63 [16].....	26
Obr. 10	Schéma vyvrtávacího nástroje.....	27
Obr. 11	Vyvrtávací tyč Rigibore řady W1.50SS (upínání Weldon) [18]	28
Obr. 12	Možnosti upnutí vyvrtávacích tyčí [1]	28
Obr. 13	Nožové jednotky s různou orientací a různými VBD [19].....	29
Obr. 14	Řez a popis šikmé nožové jednotky Pilana MCT PN 24 2428 [15].....	29
Obr. 15	Konstrukční princip excentrického mechanismu vyvrtávacího nástroje [17]	30
Obr. 16	Vyvrtávací tyč s nožovou kazetou Johne & Co. MicroCut [17]	30
Obr. 17	Vyvrtávací tyč s dvouhmotovým tlumičem vibrací [21].....	31

Obr. 18	Vyvrtávací hlava D'ANDREA TRM 50/50 [16].....	32
Obr. 19	Detail saní s rybinovým vedení univerzální vyvrtávací hlavy [22]	32
Obr. 20	Vyvrtávací hlava upnuta na nástrojovém držáku SD s potlačením vibrací [23]	33
Obr. 21	Přesná vyvrtávací hlava Walter B3230 s vnitřním chlazením a vyvažováním [24]..	33
Obr. 22	Vyvrtávací hlava Wohlhaupter VarioBore s digitální jednotkou 3E TECH [25].....	34
Obr. 23	Vyvrtávací hlava PINZBOHR Micro boring heads [26].....	35
Obr. 24	Vyvrtávací hlava D'ANDREA TRM 80/125 [16].....	35
Obr. 25	Schéma vyvrtávací hlavy s mechanismem se zvýšenou přesností	36
Obr. 26	Vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností Narex MTE Vh 70 [12]	36
Obr. 27	Vyvrtávací hlava univerzální Narex MTE Vhu 36 a technologické možnosti [12] ..	37
Obr. 28	Stavebnicový vyvrtávací nástroj RBH CBM 200 [27]	38
Obr. 29	Vyvrtávací most URMA IntraMax [28]	39
Obr. 30	Vyvrtávací lící deska KOMET GROUP KomTronic [29]	39
Obr. 31	Jednoučelový dokončovací vyvrtávací nástroj Johne & Co. [17]	40
Obr. 32	Vyměnitelná břitová destička TCMT 11 03 02-PF 4325 [14].....	41
Obr. 33	Posuvový šroub.....	42
Obr. 34	Posuvový mechanismus při hrubém nastavení	44
Obr. 35	Skupina voliče a volně otočné matice s aretací	45
Obr. 36	Sestava držáku VBD.....	47
Obr. 37	Sestava saní.....	49
Obr. 38	Příložka saní.....	50
Obr. 39	Sestava voliče	51
Obr. 40	Přívod řezné kapaliny skrz nástroj.....	52
Obr. 41	Upínací stopka s přírubou.....	53
Obr. 42	Vyvrtávací hlava se zvýšenou přesností	55
Obr. 43	Řez konstrukcí vyvrtávací hlavy se zvýšenou přesností.....	56

8.4 Seznam tabulek

Tab. 1	Doporučené řezné rychlosti pro vyvrtávání [13].....	24
Tab. 2	Doporučené posuvy pro vyvrtávání [13].....	25
Tab. 3	Parametry vyvrtávaného otvoru pro návrh a výpočet.....	41

9 SEZNAM PŘÍLOH

Seznam tištěných příloh:

Výkres sestavení s kusovníkem

Výrobní výkres saní

Výrobní výkres posuvového šroubu

Seznam elektronických příloh:

Výkres sestavení s kusovníkem – pdf

Výrobní výkres saní – pdf

Výrobní výkres posuvového šroubu – pdf

3D model vyvrtávací hlavy – step